



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS Y PECUARIAS
ESCUELA DE CIENCIAS VETERINARIAS

MONOGRAFÍA

**EVIDENCIAS DE INFECCIONES VIRALES EN LAS POBLACIONES
DE PINGÜINOS ANTÁRTICOS**

Cherie Harlette Lapier Quezada

Proyecto de Memoria
para optar al
Título Profesional
de Médico Veterinario
Departamento de
Medicina Preventiva Animal

PROFESOR GUÍA: VÍCTOR NEIRA RAMIREZ
Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias, Universidad de Chile

SANTIAGO, CHILE
2021



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS Y PECUARIAS
ESCUELA DE CIENCIAS VETERINARIAS

MONOGRAFÍA

**EVIDENCIAS DE INFECCIONES VIRALES EN LAS POBLACIONES
DE PINGÜINOS ANTÁRTICOS**

Cherie Harlette Lapier Quezada

Proyecto de Memoria
para optar al
Título Profesional
de Médico Veterinario
Departamento de
Medicina Preventiva Animal

Nota Final:

Profesor Guía	Víctor Neira
	Ramírez	
Profesor Corrector	Cristóbal Briceño
	Urzúa	
Profesor Corrector	Pedro Jiménez
	Bluhm	

SANTIAGO, CHILE
2021

AGRADECIMIENTOS

Ha sido un largo camino en el cual hubieron momentos lindos como otros difíciles, por lo que deseo agradecer a todas las personas que estuvieron conmigo durante este proceso.

Comenzando con mi madre y padre, quienes me motivaron y apoyaron a realizar mis sueños, confiando en mis capacidades, haciendo de mi la mujer que soy hoy en día. Siempre estuvieron ahí cuando los necesitaba. A mi hermano quien ha sido mi ejemplo a seguir de toda mi vida. A mi familia quienes siempre estuvieron dándome ánimo en estos años.

Mis amigos, quienes juntos en este proceso universitario pudimos salir adelante y que paso a paso lograremos lo que más deseamos para nuestro futuro .

También quiero agradecer a mi profesor guía Dr. Víctor Neira por entregarme la oportunidad de realizar esta monografía y guiarme en el proceso de ella, finalizándola sin ningún problema.

Estoy completamente agradecida, muchas gracias

INDICE

RESUMEN	3
ABSTRACT.....	4
INTRODUCCIÓN	5
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	7
Virus de importancia sanitaria reconocidos en aves migratorias.....	8
1. Influenza tipo A (IA)	8
2. Paramyxovirus aviaries (Orthoavulavirus)	8
3. Birnavirus (Avibirnavirus).....	9
Pingüinos antárticos	10
1. Adelia (Pygoscelis adeliae).....	10
2. Barbijo (Pygoscelis antarctica)	11
3. Papúa (Pygoscelis papua)	11
4. Emperador (Aptenodytes forsteri)	12
OBJETIVO GENERAL.....	14
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
MATERIALES Y MÉTODOS	15
RESULTADOS	17
1. Paramyxovirus	23
2. Influenza A	24
3. Birnavirus.....	25
4. Adenovirus.....	25
5. Papillomavirus	26
6. Polyomavirus	27
7. Picornavirus	28
8. Circovirus.....	29
9. Cressdnavirus.....	29
Virus detectados en pingüinos antárticos en cautiverio.....	33
DISCUSIÓN	34
CONCLUSIÓN.....	38
BIBLIOGRAFÍA	40
ANEXOS	52

RESUMEN

El creciente interés científico en la Antártica sumado a los avances tecnológicos durante las últimas décadas ha permitido detectar diversos agentes infecciosos presentes en este lugar tan prístino. El reconocimiento de virus en la fauna aviar del continente, algunos de gran importancia sanitaria, ha demostrado los riesgos sanitarios a los cuales se estarían exponiendo, en especial los pingüinos antárticos quienes representan una importante población en el continente. Diversos autores han ido recopilando estos datos a lo largo de los años, sin embargo, es necesaria una actualización sobre los últimos virus detectados en las poblaciones de pingüinos antárticos. En esta monografía se logró recopilar 25 artículos científicos en los que se describe la detección de nueve especies de virus en las cuatro especies de pingüinos antárticos, Adelia (*Pygoscelis adeliae*), Barbijo (*Pygoscelis Antarctica*), Papúa (*Pygoscelis papua*) y Emperador (*Aptenodytes forsteri*). también se consideraron publicaciones sobre pingüinos en cautiverios, pero solo se logró encontrar un artículo científico. Los datos entregados permitieron identificar la presencia de virus, su distribución en el continente y reconocer que especie de pingüino antártico posee mayor detección de virus. Demostrando la diversidad de agentes virales existente entre las poblaciones de pingüinos antárticos y los posibles riesgos que podrían enfrentarse.

Palabras claves: Antártica, Pingüinos antárticos, Virus, *Pygoscelis adeliae*, *Pygoscelis Antarctica*, *Pygoscelis papua*, *Aptenodytes forsteri*.

ABSTRACT

The growing scientific interest in Antarctica, together with technological advances during the last decades, has allowed the detection of several infectious agents present in this pristine place. The recognition of viruses in the avian fauna of the continent, some of great sanitary importance, has demonstrated the sanitary risks to which they are exposed, especially Antarctic penguins, which represent an important population in the continent. Several authors have been compiling this data over the years, however, an update on the latest viruses detected in Antarctic penguin populations is necessary. In this monograph, 25 scientific articles describing the detection of nine species of viruses in the four Antarctic penguin species, Adelie (*Pygoscelis adeliae*), Chinstrap (*Pygoscelis Antarctica*), Gentoo (*Pygoscelis papua*) and Emperor (*Aptenodytes forsteri*), were compiled. The data provided allowed us to identify the presence of viruses, their distribution on the continent and to recognize which species of Antarctic penguin has the highest virus detection. Demonstrating the diversity of viral agents existing among Antarctic penguin populations and the possible risks they could face.

Key words: Antarctica, Antarctic penguins, Virus, *Pygoscelis adeliae*, *Pygoscelis Antarctica*, *Pygoscelis papua*, *Aptenodytes forsteri*.

INTRODUCCIÓN

En la última década se ha mostrado un mayor interés en la investigación de la fauna Antártica, sobre todo en la detección de enfermedades con un alto impacto sanitario. El territorio antártico tiene un gran aislamiento geográfico y probablemente por esta razón muchas enfermedades distribuidas en otras latitudes están ausentes en sus poblaciones animales (Grimaldi *et al.*, 2014; Wille *et al.*, 2020). No obstante, se han desarrollado distintos estudios que confirman la presencia de microorganismos y agentes infecciosos dentro de este continente.

En la Antártica existen diversas especies de animales, entre ellos los más conocidos son los pingüinos, quienes representan el 80% de la biomasa total de aves presentes en el continente (INACH, 2017). De las 18 especies de pingüinos existentes en el mundo, 6 de ellas son reconocidas como antárticas (Couve *et al.*, 2016). La gran abundancia de los pingüinos en el continente ha generado un mayor interés científico en ellos, dada la alta probabilidad de ser reservorios endémicos de agentes patógenos (Wille *et al.*, 2020).

En la actualidad, diversos virus han sido detectados en las especies animales de la Antártica, siendo algunos de ellos de gran relevancia sanitaria (Grimaldi *et al.*, 2011). Sin embargo, se desconoce el impacto de estos virus sobre la fauna del continente y el papel que cumplen las aves silvestres antárticas en la mantención y diseminación de estos agentes virales en el ecosistema (Grimaldi *et al.*, 2014).

La presencia de estos patógenos en un lugar tan aislados como la antártica puede deberse a las aves migratorias que año a año viajan hasta este lugar, representando un importante vector en la diseminación de especies de virus aviares (Woods *et al.*, 2009; Grimaldi *et al.*, 2011; Fuller *et al.*, 2012; Gunnarsson *et al.*, 2012). Lo cual, significa un gran riesgo de contagio para las poblaciones de pingüino que estarían interactuando con estas especies de aves.

La epidemiología viral antártica es un tema que todavía se encuentra en desarrollo, con un número limitado de estudios a la fecha. El reconocimiento de enfermedades infecciosas en

pingüinos de forma oportuna permitiría anticipar posibles consecuencias negativas en las poblaciones de aves de la Antártica (Grimaldi *et al.*, 2011; Cristina, 2019). De modo que el conocimiento y recopilación de estos estudios sería una herramienta útil para observar la dinámica viral y determinar su importancia ecológica, siendo información crucial para mantener la salud de los ecosistemas (González-Acuña *et al.*, 2013; Smeele *et al.*, 2018).

Es por esto, que algunos autores como Grimaldi *et al.* en 2014, Smeele *et al.* en 2018 y Cristina en 2019, han recopilado datos sobre virus presentes en la Antártica; con el fin de ir actualizando a la comunidad científica y exponer los riesgos a los cuales se están exponiendo la fauna antártica, en particular los pingüinos. A pesar de ello, nuevas investigaciones se han realizado en el último año y, por ende, es necesaria una actualización de la diversidad viral existente en la Antártica.

A su vez, es relevante tener conocimiento de virus que estén afectando a pingüinos antárticos en cautiverio, ya sea en zoológicos, acuarios, centros de rehabilitación, entre otros. Estudios realizados en pingüinos antárticos en cautiverio, permitirían reconocer e anticipar posibles infecciones en el futuro de estos agentes virales y, de este modo, tomar las medidas adecuadas para evitar consecuencias negativas en las poblaciones de pingüinos en el continente.

Por ende, el objetivo de esta monografía es recopilar y describir la información publicada sobre virus en pingüinos antárticos, con el propósito de demostrar la diversidad de patógenos y el riesgo al cual se exponen sus poblaciones.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

La Antártica es considerada de gran valor científico, dado su aislamiento geográfico y medio ambiente extremo, además, de ser considerado como uno de los lugares más prístinos del planeta (Grimaldi *et al.*, 2014; Wille *et al.*, 2020). A pesar de ello, existe la incertidumbre sobre la presencia y abundancia de virus con importancia en salud pública, que podrían estar causando enfermedad en las especies animales del continente (Cristina, 2019). Sobre todo, en pingüinos, quienes además de ser una especie carismática y símbolo de la Antártica, poseen una gran abundancia en el territorio.

Dada las características de la Antártica, se han postulado diversos mecanismos de ingreso de patógenos al continente, siendo una opción la llegada de aves migratorias proveniente de otras regiones geográficas (Grimaldi *et al.*, 2011, Smeele *et al.*, 2018). Durante la migración, estas aves se enfrentan a variados factores estresantes que aumentan su susceptibilidad a infecciones nuevas o latentes, logando ser diseminadores de patógenos infecciosos (Altizer *et al.*, 2011; Fuller *et al.*, 2012; Gunnarsson *et al.*, 2012). La Antártica solo posee un 2% de terreno sin hielo en donde las aves pueden realizar sus nidos y llevar a cabo la crianza de los polluelos (Woods *et al.*, 2009). Sin embargo, cada año durante el verano llegan al continente 43 especies de aves migratorias marinas, lo cual implica, una mayor aglomeración de aves y, por ende, más contacto entre ellas (Woods *et al.*, 2009; Uhart *et al.*, 2017). Especies como albatros (*Diomedidae*), escúas (*Catharacta spp.*) y petreles (*Macronectes* y *Procellaria spp.*) denotan una gran importancia en la transmisión de enfermedades a las poblaciones de pingüino antárticos (Grimaldi *et al.*, 2011). Además de tener una dieta basada en carroña y depredar sobre huevos y polluelos de pingüino, aumentando así la interacción entre ellos (Uhart *et al.*, 2017).

A continuación, se describirán los virus en aves con relevancia sanitaria que se han descrito en aves migratorias (Woods *et al.*, 2009; Fuller *et al.*, 2012), que según lo referido anteriormente, podrían representar un gran riesgo a las poblaciones de pingüino antárticos, amenazando su conservación. Posteriormente, se expondrán las principales especies de pingüinos presentes en el continente Antártico.

Virus de importancia sanitaria reconocidos en aves migratorias

Influenza tipo A (IA)

Es un virus ARN, de polaridad negativa hebra simple. Pertenece a la familia Orthomyxoviridae en la cual se reconocen siete géneros. Los virus de influenza A se clasifican de acuerdo con sus proteínas de superficie (Figura 1a), hemaglutinina (HA) y neuroaminidasa (NA). A la fecha, se reconocen 16 subtipos de HA diferentes y nueve subtipos de NA diferentes en aves (Kalthoff *et al.*, 2010; McCauley *et al.*, 2019). Las cepas que se detectan en aves se conocen como cepas de Influenza Aviar. Estas cepas, suelen clasificarse en dos categorías: influenza aviar de baja patogenicidad (IABP), las que por lo general no generan signos clínicos, e influenza aviar altamente patógena (IAAP), que produce graves signos clínicos respiratorios y de alta mortalidad (More *et al.*, 2017). Respecto a las aves acuáticas silvestres, se ha visto que pueden ser reservorios de influenza A y sobre todo las aves que migran, pueden llevar el virus a zonas completamente libres de esta enfermedad (Lang *et al.*, 2016). No obstante, cabe destacar, que las infecciones por el virus de la influenza aviar (VIA) en aves acuáticas silvestres generalmente son causadas por virus de la influenza aviar de baja patogenicidad (IABP) (Breed *et al.*, 2010; Krauss y Webster, 2010; Vandegrift *et al.*, 2010). Respecto a Chile continental, si bien no se relaciona directamente con Antártica, se han descrito varios subtipos de influenza A entre ellas cepas de baja patogenicidad H5 y H7 (Jiménez *et al.*, 2018).

Paramyxovirus aviare (Orthoavulavirus)

Son virus envueltos, con un genoma RNA de hebra simple no segmentado y con polaridad negativa (Figura 1b) (Miller *et al.*, 2010; Briand *et al.*, 2012). Los paramyxovirus aviare (APMV) corresponden al género Avulavirus, pertenecientes a la subfamilia Paramyxovirinae y familia Paramyxoviridae. Hasta el momento se han reconocido 20 serotipos distintos de APMV, de los cuales, en solo seis se ha demostrado que provocan enfermedad (Rahman *et al.*, 2018, Rima *et al.*, 2019). Sus signos clínicos son principalmente de carácter respiratorio, nervioso, digestivo y reproductivo (Alexander, 2011). De los paramyxovirus aviare, el APMV-1 es el más reconocido dado que es el agente causal de la enfermedad de Newcastle y el único capaz de replicar en especies no aviare (Chong *et al.*, 2010). Es el miembro más

estudiado de todos los paramixovirus aviáres, debido al impacto económico que produce en la industria avícola, como también, por su capacidad zoonótica (Gogoi *et al.*, 2015). El virus APMV-1 posee cinco cepas, que son: entérico-asintomática (signos subclínicos), lentogénica (signos leves respiratorios), mesogénica (signos respiratorios y nerviosos ocasional), velogénica neurotrópico (signos respiratorio y nervioso) y velogénica viscerotrópico (lesiones intestinales hemorrágicas); siendo la cepa velogénica la que produce signos clínicos graves que conducen a la muerte del ave (Chong *et al.*, 2010; Karamendin *et al.*, 2016). Las aves silvestres son consideradas reservorios naturales de la cepa lentogénica como de cepas más virulentas (Alexander, 2011; Dimitrov *et al.*, 2016).

Birnavirus (Avibirnavirus)

Birnaviridae es una familia de virus sin envoltura, que poseen un genoma RNA de hebra doble bisegmentado (Figura 1c). Dentro de esta familia se encuentra el género Avibirnavirus, responsable de generar enfermedad en aves (Delmas *et al.*, 2019). El virus de la Enfermedad infecciosa de la Bursa (IBDV) o enfermedad de Gumboro es uno de los Birnavirus económicamente más importantes en la avicultura, dado que es altamente infeccioso y recurrente en aves jóvenes (Tammiranta *et al.*, 2018). El IBDV es un agente inmunosupresor y presenta dos serotipos; primero la forma aguda, que es la más reconocida, porque generalmente produce la muerte del animal, y la forma subclínica, que no produce signología, pero igual aumenta la susceptibilidad a otros agentes infecciosos (Mahgoub, 2012). Pese a que se ha aislado ampliamente en diversas aves de la industria avícola, solo ha sido identificada la patología inmunosupresora en pollos (Jackwood *et al.*, 2015). En aves silvestres ha sido identificado en variadas oportunidades, siendo descrita como enfermedad emergente en este grupo de aves y posible reservorio de la enfermedad (Oluwayelu *et al.*, 2014; Cristina, 2019).

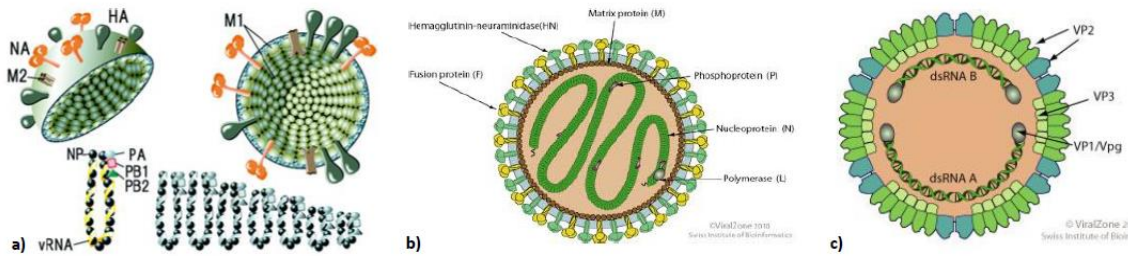


Figura 1. Diagrama de estructuras de los virus con importancia sanitaria, donde se describe las proteínas de membrana y forma del genoma. a) Virus influenza A, b) Paramixovirus, c) Birnavirus (Modificado de ViralZone, 2010).

Asimismo, existen otros virus aviares que se han reconocido en aves migratorias y que impactan de forma negativa a las poblaciones de aves. Dentro de estas, podemos mencionar Poxvirus, Adenovirus, Picornavirus, Flavivirus, Herpesvirus, entre otros (Fuller *et al.*, 2012; Uhart *et al.*, 2017, Smeele *et al.*, 2018). Es importante señalar que los cuadros infecciosos virales no se presentan de la misma manera en las distintas especies de aves, además de que la capacidad de propagación de patógenos entre los continentes dependerá mucho la interacción individuo- agente (Fuller *et al.*, 2012).

Pingüinos antárticos

Adelia (*Pygoscelis adeliae*)

Son uno de los más numerosos y conocidos de los pingüinos antárticos, siendo el más pequeño de los que viven en la Antártica. Su población estimada es de seis millones de individuos en el continente (Bost *et al.*, 2013; Jaramillo *et al.*, 2014). Su plumaje es negro azulado en la cabeza y dorso hasta la cola y blanco desde la garganta hasta los pies. Los ojos poseen plumaje blanco alrededor formando un círculo (Figura 2) (Bost *et al.*, 2013). Es exclusivo de aguas Antárticas, pelágico, pero nidifica en islas. Se mueve en grupos, siendo muy territorial y agresivo. Se considera que la especie no está globalmente amenazada, con población estable o en crecimiento (Couve *et al.*, 2016).

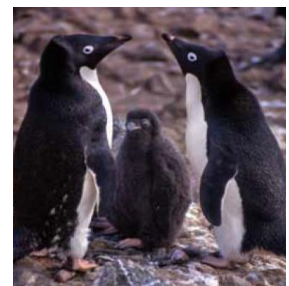


Figura 2. Imagen pareja de pingüinos Adelia, con su cría (Fuente: Bost *et al.*, 2013).

Barbijo (*Pygoscelis antarctica*)

Una característica única de esta especie es la banda delgada de plumas negras que se extiende de uno a otro lado de la cabeza, justo por debajo de cada ojo y se une por debajo del pico negro (Figura 3) (Jaramillo *et al.*, 2014). Sus patas grandes y palmeadas poseen fuertes garras que sirven para trepar rocas. La cola tiene plumas



Figura 3. Imagen grupo de pingüinos Barbijo. (Fuente: Bost *et al.*, 2013).

largas y rígidas, que lo equilibran junto con los talones para minimizar el área de contacto con el hielo y no perder calor por conducción (Bost *et al.*, 2013). Se les considera los pingüinos más ágiles, ruidosos, bravucones y belicosos. Comparte sitios de anidación con el pingüino Rey (*Aptenodytes patagonicus*) y pingüino de Adelia (Jaramillo *et al.*, 2014; Couve *et al.*, 2016). Su distribución es estrictamente Antártica. Su hábitat es pelágico. Realiza sus nidos a mayor altura, en comparación a otros pingüinos (Couve *et al.*, 2016).

Papúa (*Pygoscelis papua*)

Posee plumaje negro en la cabeza y dorso hasta la cola. La cabeza posee párpados blancos y un parche triangular de color blanco encima de cada ojo. La cola es corta y puntuda con plumas rígidas, siendo lo más destacable de esta especie, las cuales en tierra la usan para impulsarse (Bost *et al.*, 2013). Vive en mares antárticos y evita zonas de mar congelado. Es pelágico en canales e islas australes y un excelente buceador de profundidad (Jaramillo *et al.*, 2014). Es el ave nadador más veloz bajo el agua, pudiendo llegar a velocidades de hasta 36 kilómetros por hora. Vive en colonias distantes de la playa a las que vuelve anualmente (Figura 4) (Couve *et al.*, 2016).



Figura 4. Imagen Grupo de pingüinos Papúa. (Fuente: Bost *et al.*, 2013).

Emperador (*Aptenodytes forsteri*)

El pingüino Emperador es el más grande de las 18 especies de pingüinos existentes y es el buceador de mayor profundidad entre las aves (400 a 500 m) (Jaramillo *et al.*, 2014). En cada lado de la cabeza tiene una banda que comienza siendo de color anaranjado y va disminuyendo su color gradualmente hacia abajo (Bost *et al.*, 2013) (Figura 5). Para desplazamiento de largas distancias sobre el hielo, se desliza sobre su estómago ayudándose con sus alas para darse impulso. Es una de las dos especies restringidas a la Antártica, evitando el mar abierto más allá del límite de los hielos flotantes (Jaramillo *et al.*, 2014). Es el único pingüino que se reproduce e incuba en el casquete polar antártico. Son considerados en estado de Preocupación Menor por la IUCN (Couve *et al.*, 2016).



Figura 5. Imagen pingüinos Emperador. (Fuente: Bost *et al.*,

Otras especies de pingüinos que habitan la Antártica incluyen: pingüino Rey (*Aptenodytes patagonicus*) y pingüino Macaroni (*Eudyptes chrysolophus*), pero estos no serán descritos debido a que habitan mayoritariamente islas subantárticas y el sur de Sudamérica (Bost *et al.*, 2013; Jaramillo *et al.*, 2014; Couve *et al.*, 2016).

También debemos tener en cuenta aquellos pingüinos antárticos que han sido llevados a centros de exhibición como zoológicos, acuarios, centros de rehabilitación, con el fin de promover su rescate o conservación (Conde *et al.*, 2013; Kelly *et al.*, 2013). Sin embargo, al ser trasladados las condiciones medioambientales cambian por lo que estos individuos se enfrentarían a factores externos que podrían disminuir su inmunidad ante patógenos infecciosos y generar enfermedad (Morgan y Tromborg, 2007). Los centros de exhibición mantienen un constante monitoreo de enfermedades e investigaciones de su colección de animales (AZA, 2014). Esto ha permitido que se reconozcan patógenos que en su hábitat natural no estarían expuestos; aun así, esto no excluye que en un futuro próximo podrían encontrarse frente a estos agentes infecciosos.

En resumen, existen múltiples virus aviarios que pueden ser diseminados por las aves silvestres migratorias a lugares tan aislados como lo es la Antártica. Esto significa una gran amenaza para la avifauna presente, sobre todo, en poblaciones de aves con una distribución geográfica tan delimitada como lo son las especies de pingüino antártico. Esto supone un punto importante, ya que, estos virus podrían generar enfermedades o muertes masivas de individuos afectando así la densidad poblacional de las especies. Además, estos virus pueden ser endémicos en dichos animales, los cuales posteriormente pueden actuar como reservorios. A su vez, el reconocimiento de agentes virales en pingüinos antárticos en cautiverio significa una herramienta útil para identificar posibles infecciones futuras en la Antártica. Por esta razón, es sumamente relevante e importante obtener la información acerca de los virus que han sido detectados en los pingüinos antárticos hasta el momento, debido a que el conocimiento detallado, puede ayudar a generar herramientas de detección oportuna de estos agentes infecciosos y su dinámica viral permitiría tomar medidas preventivas o de acción frente al desarrollo de las enfermedades. La presencia de cualquiera de estos virus puede significar un deterioro en el ecosistema Antártico.

OBJETIVO GENERAL

Describir la diversidad de virus aviares detectados en pingüinos antárticos, a través de publicaciones científicas realizadas hasta la fecha.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Recopilar y analizar publicaciones científicas en virus realizadas en pingüinos antárticos de vida libre.
2. Recopilar y analizar publicaciones científicas en virus realizadas en pingüinos antárticos en cautiverio.
3. Comparar los resultados obtenidos de la recopilación de información en pingüinos antárticos de vida libre y cautiverio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Estrategia de búsqueda: búsqueda sistemática de información que se realizó inicialmente a través de Google Scholar para identificar estudios relevantes, y luego, en bases de datos con un enfoque más científico, como Science Direct, SpringerLink, Wiley online Library y Scielo. Se utilizaron como términos de búsqueda las siguientes combinaciones de palabras clave en inglés, de este modo se amplió el rango de búsqueda, debido a que existe una mayor cantidad de publicaciones en este idioma que al español. Las palabras claves son: *Virus, Antarctica, infectious disease, antarctic penguin, infectious agents, antarctic penguin virus, captivity, Aptenodytes forsteri, Pygoscelis papua, Pygoscelis antarctica, Pygoscelis adeliae, Influenza, Paramyxovirus, etc.* La búsqueda de literatura comprende artículos publicados hasta el 31 de diciembre del 2020, todos ellos son publicaciones con revisión por pares (*peer review*) ISI WoS. Se consideró como un mínimo de 20 publicaciones para realizar la investigación, esto debido a que la última investigación publicada en donde se reúnen estos datos posee un total de 16 publicaciones (Smelee *et al.*, 2018).

Selección de datos: la primera selección se realizó en base a títulos y/o resúmenes de los artículos entregados por la búsqueda y se evaluó su relevancia y atingencia con respecto al tema. Posteriormente, la segunda selección de artículos fue con respecto al contenido del texto completo, donde se verificó que cumplieran con los criterios de inclusión. Por último, se buscó en las listas de referencias bibliográficas de estos artículos para buscar publicaciones que no han sido arrojadas anteriormente en los sitios de búsqueda con las palabras claves.

Criterios de inclusión y exclusión: se incluyeron estudios y reportes con información relevante y atingente a virus positivamente detectados en pingüinos antárticos, ya sea por aislamiento, detección de ADN/ARN o serológico. Además, se consideraron estudios realizados solo en el continente, península e islas Antárticas. Como también, aquellos estudios realizados en pingüinos antárticos en cautiverio, para determinar la susceptibilidad a otros virus no presentes en la Antártica. Solo se incluyeron investigaciones realizadas en cuatro de las seis especies de pingüino reconocidos como antárticos: pingüino Adelia (*Pygoscelis adeliae*), pingüino Papúa (*Pygoscelis papua*), pingüino Barbijo (*Pygoscelis*

antarctica) y pingüino Emperador (*Aptenodytes forsteri*), dado que ellos habitan mayoritariamente la Antártica a diferencia de los pingüinos Macaroni (*Eudyptes chrysolophus*) y Rey (*Aptenodytes patagonicus*) que habitan principalmente el sur del continente sudamericano e islas subantárticas. No se aplicó restricción por fecha de publicación, siendo ninguna de ellas refutadas por investigaciones más recientes. Se excluyeron trabajos realizados en otros idiomas que no sean en inglés ni español, por la dificultad de traducción. Así mismo se apartaron, aquellos estudios y libros que eran revisiones bibliográficas de virus encontrados en la antártica y en pingüinos, dado que no se obtendría información nueva y relevante que se esperaba encontrar.

Organización, clasificación y análisis de datos: la recopilación de datos comenzó con la búsqueda en fuentes confiables, posteriormente fue organizada y clasificada de manera coherente, de acuerdo con los siguientes parámetros: número de publicaciones por virus, virus detectados en cada especie de pingüino, lugares muestreados y método de detección (Anexo 1). Se analizaron los datos que entregan las publicaciones para identificar los puntos destacables, y a la vez, indicar los riesgos a los cuales se están enfrentando las poblaciones de pingüino. Adicionalmente, se utilizaron gráficos y tablas, para entregar de manera más simplificada y didáctica la información obtenida. Así mismo, la publicación realizada en cautiverio fue clasificada por especie de pingüino antártico, lugar de origen, signos de la enfermedad y virus detectado.

RESULTADOS

De la recopilación de información se obtuvo un total de 25 artículos sobre virus en pingüinos antárticos revisados por pares que cumplen con los criterios previamente establecidos. Los detalles de cada uno de los artículos se pueden observar en la Tabla 1. Estas investigaciones poseen una data desde 1981 hasta 2020, alrededor de 30 años. Existen períodos, entre 2 a 5 años, durante estas tres décadas donde no existe ninguna publicación referente a virus detectados en especies de pingüinos antárticos, esto comprende los años 1990-1992, 1994-1996, 1998-2003, 2005-2008, 2011-2013. Desde el 2014 en adelante las publicaciones se hicieron más continuas. Además, se observa que en la mayoría de los años solo hay un artículo científico publicado con respecto a detección de virus en la antártica. Sin embargo, se mostró un aumento de las publicaciones en la última década, sobre todo en 2019 donde se publicaron cinco artículos (Figura 6).

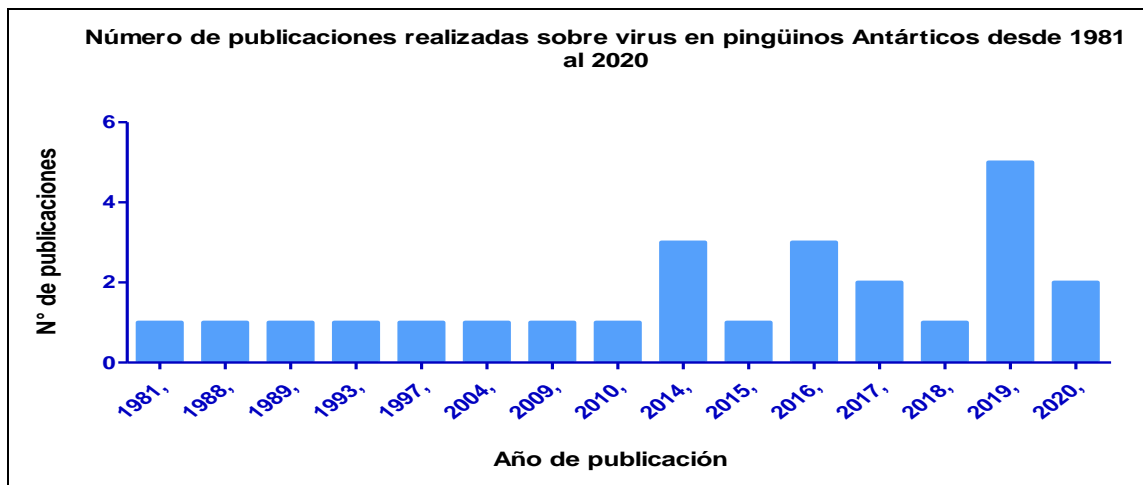


Figura 6. Gráfico con número de publicaciones por año registradas desde 1981 al 2020 (Elaboración propia, Graphpad Prism).

Localidades: Las investigaciones se llevaron a cabo en diversas regiones del continente antártico. El total de lugares muestreados fueron 25 localidades (Anexo 2), de las cuales se pueden resumir en 7 regiones; Tierra Wilkes, Tierra Victoria, Tierra Mac Robertson, Tierra Princesa Isabel, Tierra Adelia, Islas Shetland del sur y Península Antártica (Figura 7). Tanto las Islas Shetland del sur como la Isla Ross, son quienes poseen una mayor diversidad de virus detectados, cinco virus, luego se encuentra la península antártica con cuatro virus.

Dentro de las islas Shetland del sur, la isla Rey Jorge es donde se observa una mayor cantidad de virus (Anexo 3). La zona con menor número de muestreos es Dumont d'Urville (Tierra Adelia).

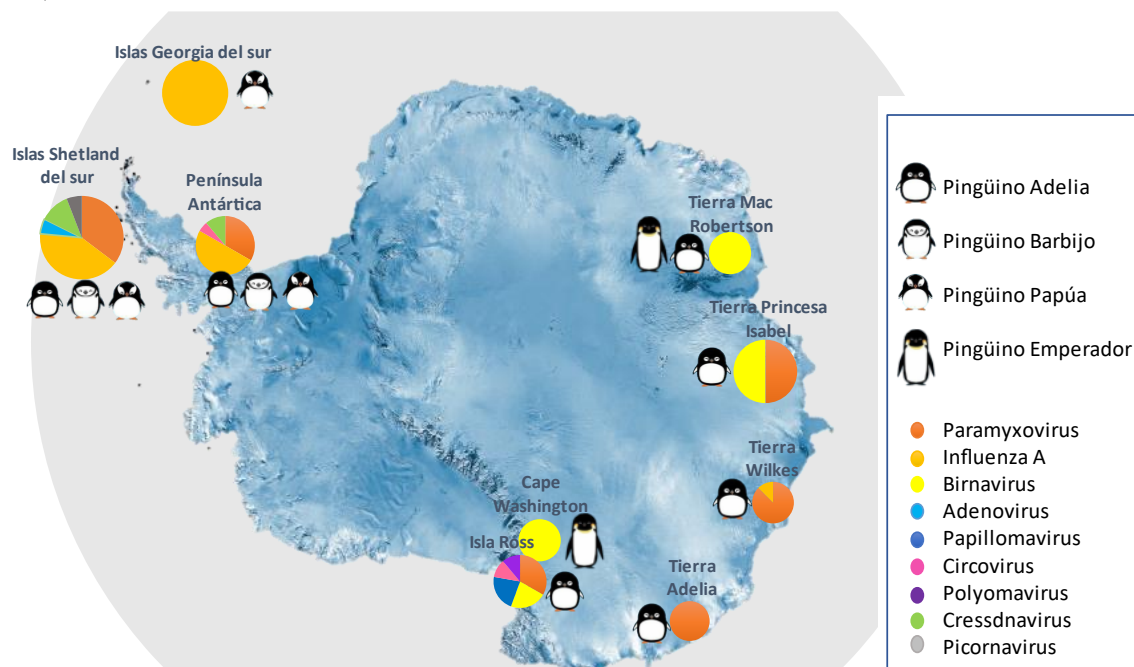


Figura 7. Mapa con regiones del continente antártico donde se indica lugares que han sido muestreados en las publicaciones, pingüinos muestreados y virus detectados en que proporción en relación con otros virus detectados en la misma zona (Elaboración propia).

Agentes virales: El virus Paramyxovirus fue el más reportado en las distintas regiones, a excepción de Cape Washington y Tierra Mac Robertson, donde no se ha registrado hasta el momento su presencia. El virus de influenza A, ha sido detectado en su mayoría en las Islas Shetland del sur. Birnavirus solo ha sido encontrarlo en dos zonas de la Antártica, Tierra Mac Robertson y Cape Washington. Tanto Adenovirus, Papillomavirus, Polyomavirus y Picornavirus solo han sido descritos en una región de la Antártica (Figura 7). En cuanto al sector de Tierra Wilkes e Isla Ross son quienes poseen las publicaciones más antiguas, 1981-1993, mientras que la isla Shetland y península antártica las más recientes, 2018-2020.

Tabla 1. Publicaciones encontradas donde se indica virus detectado, cepas del virus detectado, pingüinos muestreados, lugar donde se realizó, muestras tomadas, método de detección del virus y autor del artículo científico (Elaboración propia).

Virus/Cepa	Pingüino	Región	Muestra	Método	Autor
<u>Paramixovirus</u>					
NDV APMV3 APMV7 APMV8	Adelia	Tierra Wilkes y Dumont d'Urville	Hisopo cloacales Sangre	Serológico (HA, HI) Aislamiento viral	Morgan y Westbury, 1981
APMV desconocido	Adelia	Vestfold Hills (Estación Davis)	Hisopos cloacales	Aislamiento viral	Morgan y Westbury, 1988
NDV APMV 1-8 y 78/179	Adelia	Tierra Wilkes e Isla Ross	Hisopos cloacales Sangre	Serológico (HI, IDD) Aislamiento viral	Alexander et al., 1989
APMV 78/179	Adelia	Isla Ross	Hisopos cloacales y traqueales Sangre	Serológico (EIA, HI, N-I) Aislamiento viral	Austin y Webster, 1993
NDV	Adelia	Islas Shetland del sur	Hisopos cloacales y traqueales Sangre	Serológico (HI) qPCR Aislamiento viral	Thomazelli et al., 2010
APMV17 APMV18 APMV19	Papúa	Isla Kopaitic	Hisopos cloacales Sangre	Serológico (HI) RT-PCR Aislamiento viral	Neira et al., 2017
NDV	Adelia	Isla Ross	Sangre	Serológico (HI)	Grimaldi et al., 2018

APMV17 APMV18 APMV19	Adelia Papúa Barbijo	Península antártica	Sangre	Serológico (HI)	Olivares <i>et al.</i>, 2019
APMV17 APMV18 APMV19 APMV10-Like	Adelia Papúa Barbijo	Islas Shetland del sur y Península antártica	Hisopos Cloacales	Serológico (HI) Aislamiento viral	Wille <i>et al.</i>, 2019
<u>Influenza A</u>					
H7	Adelia	Isla Peterson	Sangre	Serológico (HI, Inmunodifusi ón)	Morgan y Westbury, 1981
H1(N1), H3, H7, H9	Adelia Papúa Barbijo	Islas Shetland del sur y Península Antártica	Sangre	Serológico (HI)	Baumeister <i>et al.</i>, 2004
H11N2	Adelia	Islas Shetland del sur y Península Antártica	Hisopos cloacales y traqueales Sangre	Serológico (ELISA) RT- PCR Aislamiento viral	Hurt <i>et al.</i>, 2014
H5N5 H11N2	Barbijo	Península Antártica	Hisopos cloacales y traquealesSa ngre Heces	Serológico (NP, ELISA, HI) RT-PCR Aislamiento viral	Hurt <i>et al.</i>, 2016
H5N5	Adelia Papúa Barbijo	Península antártica	Hisopos cloacales Sangre	Serológico RT- PCR	Barriga <i>et al.</i>, 2016
<u>Avibirnavirus</u>					
IBDV1	Emperador Adelia	Mawson	Sangre	Serológico (VNT)	Gardner <i>et al.</i>, 1997

IBDV1	Emperador Adelia	Mawson Estación Davis, Cape Washington	Sangre	Serológico (VNT) RT-PCR	Watts et al., 2009
IBDV1	Adelia	Isla Ross	Sangre	Serológico (ELISA, VNT)	Grimaldi et al., 2018
<u>Adenovirus</u>					
*CSPAdV-1	Barbijo	Islas Shetland del sur	Carcasas	PCR Aislamiento viral	Lee et al., 2014
*CSPAdV3 *CSPAdV-4 *GPAdV-4 *GPAdV-5	Barbijo Papúa	Islas Shetland del sur	Carcasas	RACE-PCR	Lee et al., 2016
<u>Papillomavirus</u>					
*PaPV1	Adelia	Isla Ross	Heces	RCA DNA Aislamiento viral	Varsani et al., 2014
*PaPV2	Adelia	Isla Ross	Hisopos cloacales	RCA DNA	Van Doorslaer et al., 2017
<u>Polyomavirus</u>					
*AdPyV	Adelia	Isla Ross	Heces	RCA DNA	Varsani et al., 2015
<u>Picornavirus</u>					
*Penguin Megrivirus E1	Adelia	Islas Shetland del sur	Heces	NetoVIR	Yinda et al., 2019
*PingPcV	Papúa	Islas Shetland del sur	Hisopos cloacales Sangre	RT-PCR Aislamiento viral	De Souza et al., 2019

Circovirus					
*PenCV	Adelia	Isla Ross	Heces	RCA DNA	Morandini et al., 2019
PenCV	Adelia Barbijo	Península antártica	Hisopos cloacales	RCA DNA	Levy et al., 2020a
Cressnavirus					
Cress desconocido	Papúa Barbijo	Islas Shetland del sur y Península Antártica	Hisopos cloacales	RCA DNA, PCR	Levy et al., 2020b

*Virus nuevo

Las primeras investigaciones en la Antártica se debieron a muertes masivas de polluelos y juveniles de pingüino Emperador y Adelia. Estos fueron encontrados muertos cerca de la estación Mawson (Morgan y Westbury, 1981; Kerry *et al.*, 2009; Barriga *et al.*, 2016; Cristina, 2019). MacDonald y Conroy en 1971, describen muertes masivas de pingüino Papúa en Isla Signey con lesiones en sus patas, muy parecido a los signos causados por la pufinosis (Barbosa y Palacios, 2009). Sin embargo, es desconocida la causa de estas muertes nunca pudieron comprobar el agente causal (Smeele *et al.*, 2018). Esto aumentó el interés científico en la Antártica, iniciando investigaciones en el continente antártico sobre pingüinos, ya que hasta el momento no existía información sobre la susceptibilidad de los pingüinos a estos patógenos, y el impacto que generaría en sus poblaciones (Cristina, 2019).

Los virus que han sido detectados y publicados hasta el momento han sido nueve especies, los cuales son:

Paramyxovirus

Es uno de los principales patógenos con investigaciones en la Antártica (Figura 8). Los primeros hallazgos de paramixovirus aviáres en pingüinos antárticos fueron en los años 1976-1979, donde se aislaron ocho serotipos distintos, de los cuales, los serotipos APMV3, APMV7 y APMV8 fueron encontrados en pingüino Adelia, como también, de AMPV 1 virus quien genera la enfermedad de Newcastle (NDV) (Morgan y Westbury, 1981). Posteriormente en 1988 cerca de Vestfold Hills, se registraron por aislamiento viral 3 cepas de APMV en pingüino Adelia nuevamente, pero no se pudo identificar a que APMV pertenecían (Morgan y Westbury, 1988). También se registró el aislamiento de una cepa lentogénica del virus de la enfermedad de Newcastle (APMV1) en muestras hisopos cloacales desde un pingüino Adelia, además de APMV 8 y un APMV nuevo que se denominó 78/179 (Alexander et al., 1989). Este nuevo virus fue nuevamente detectado en 1993 en la isla Ross (Austin y Webster, 1993). En 2009, un estudio que se realizó en pingüinos Adelia, Barbijo y Papúa en la isla del Rey Jorge; identificaron dos virus pertenecientes a APMV-1 en muestras cloacales de pingüinos Adelia y, además, un 33,3% de los pingüinos muestreados poseen serología positiva frente a este virus (Thomazelli *et al.*, 2010). Posteriormente en 2018, Grimaldi et al., identificó mediante muestras de sangre tomadas en pingüino barbijo de la Isla Ross, el virus de la enfermedad de Newcastle (NDV). Recientemente, 3 nuevos serotipos fueron hallados en pingüinos antárticos (Papúa, Barbijo y Adelia), siendo AMPV17, AMPV18, AMPV19; los cuales hasta el momento han sido descritos como de baja patogenicidad (Neira *et al.*, 2017; Olivares *et al.*, 2019). La última investigación realizada

En 2009, un estudio que se realizó en pingüinos Adelia, Barbijo y Papúa en la isla del Rey Jorge; identificaron dos virus pertenecientes a APMV-1 en muestras cloacales de pingüinos Adelia y, además, un 33,3% de los pingüinos muestreados poseen serología positiva frente a este virus (Thomazelli *et al.*, 2010). Posteriormente en 2018, Grimaldi et al., identificó mediante muestras de sangre tomadas en pingüino barbijo de la Isla Ross, el virus de la enfermedad de Newcastle (NDV). Recientemente, 3 nuevos serotipos fueron hallados en pingüinos antárticos (Papúa, Barbijo y Adelia), siendo AMPV17, AMPV18, AMPV19; los cuales hasta el momento han sido descritos como de baja patogenicidad (Neira *et al.*, 2017; Olivares *et al.*, 2019). La última investigación realizada

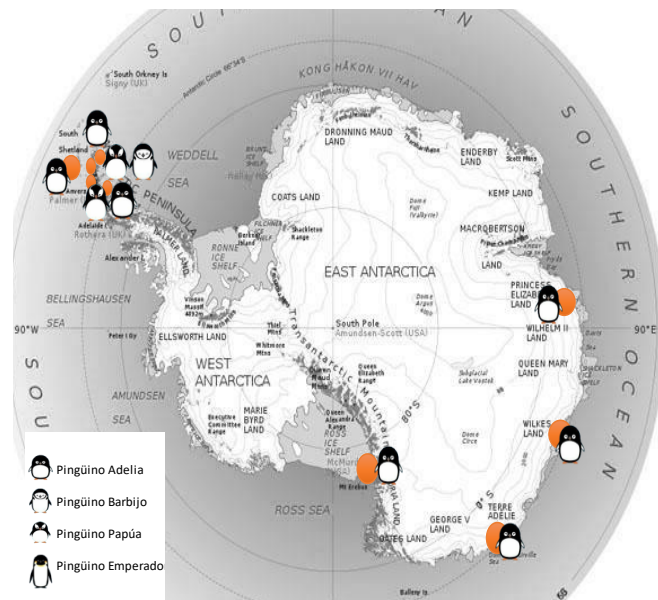


Figura 8. Mapa de lugares y pingüinos antárticos en donde se encontró evidencia de paramixovirus (Elaboración propia).

La última investigación realizada

hasta el momento demostró que los pingüinos Adelia serían hospederos para cuatro especies diferentes de Avulavirus; AMPV 17, AMPV18, AMPV19 y AMPV10 (Wille *et al.*, 2019).

Influenza A

En un inicio solo fue posible detectar anticuerpos para cepas H7 en pingüino Adelia (Morgan y Westbury, 1981). Posteriormente, se encontraron antígenos para H1N1 en *P. adeliae*, *P. antarctica*, *P. papua*, siendo los recuentos más altos en este último. Además, se registraron otros subtipos, H3, H7, H9 en los pingüinos muestreados y en aves migratorias

de la zona (Baumeister *et al.*, 2004). En 2014, se aisló un subtipo H1N2 de pingüinos Adelia en la Antártica, siendo sus segmentos genéticos distintos de todos los virus de influenza contemporáneos conocidos hasta ese momento; por lo que, el estudio concluyó que la Antártica puede actuar como "sumidero" evolutivo para el Virus de Influenza Aviar (VIA) altamente divergente (Hurt *et al.*, 2014). Al año siguiente, en muestras de sangre de pingüinos Adelia, se identificaron cinco ejemplares seropositivos para influenza H5N5 (Barriga *et al.*, 2016). También, se obtuvieron cuatro muestras positivas (incluido el virus secuenciado) en pingüinos barbijo juveniles que se encontraban débiles, deprimidos y posiblemente enfermos (Barriga *et al.*, 2016). Finalmente, Hurt *et al.* nuevamente vuelve a describir cepas H1N2 y H5N5, pero esta vez en pingüino Barbijo en el sector de la Península Antártica (Figura 9) (Hurt *et al.*, 2016).

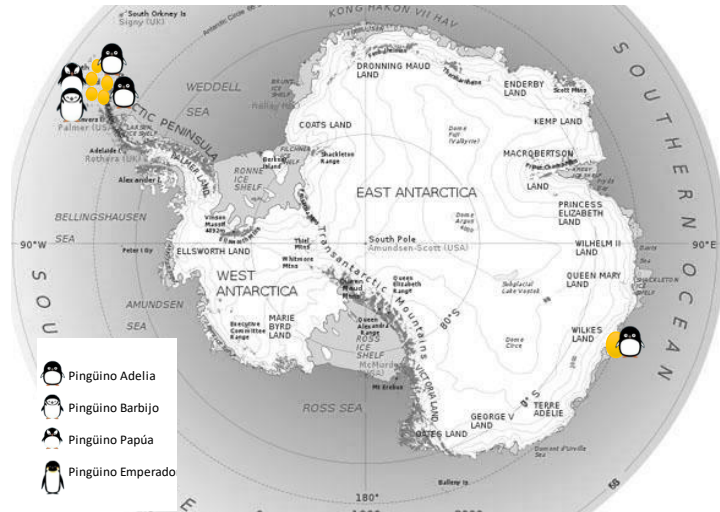


Figura 9. Mapa de lugares y pingüinos antárticos en donde se encontró evidencia de Influenza A (Elaboración propia).

Birnavirus

Los primeros estudios realizados lograron identificar altos títulos de anticuerpos para IBDV en pingüino Adelia y Emperador, de distintas colonias en la Antártica (Gardner *et al.*, 1997; Watts *et al.*, 2009). La alta seroprevalencia en pingüino Emperador se ha mantenido a lo largo de años y en todas las ubicaciones muestreadas (Figura 10), luego de alrededor de 10 años, en las mismas especies de pingüinos (Watts *et al.*, 2009). Posteriormente en la Isla Ross, se detectaron anticuerpos para IBDV desde muestras de pingüino Adelia. En ninguno de los pingüinos muestreados se observaron signos clínicos relacionados a alguna enfermedad (Grimaldi *et al.*, 2018).

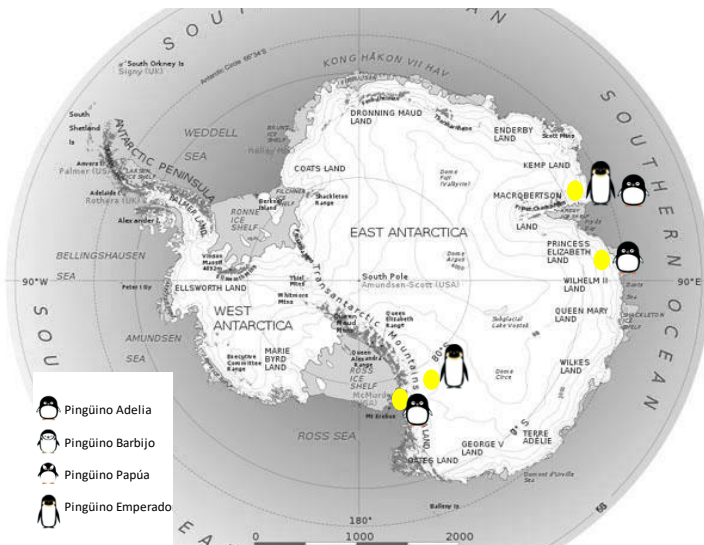


Figura 10. Mapa de lugares y pingüinos antárticos en donde se encontró evidencia de Avibirnavirus (Elaboración propia).

Adenovirus

Los primeros adenovirus identificados fueron en pingüino Barbijo, Adelia y Papúa (Lee *et al.*, 2014; Lee *et al.*, 2016). En el primer estudio realizado por Lee *et al.*, 2014 en la isla Rey Jorge (Figura 11), examinaron múltiples tejidos en carcasas de pingüinos Barbijo, recolectados en la Antártida durante 2009 y 2010; en donde, detectaron la presencia de nuevos adenovirus por PCR (Reacción en cadena de la polimerasa), denominado adenovirus 1 de pingüino Chinstrap (CSPAdV-1), del género Siadenovirus (Lee *et al.*, 2014). El segundo artículo consistió en la caracterización genética y epidemiología molecular del virus, desde muestras de pingüinos Barbijo, Papúa y Adelia (Lee *et al.*, 2016). De esta forma, el estudio

epidemiológico indicó que de los 78 pingüinos muestreados 28 presentaban el virus con un predominante en la población de pingüinos Barbijo. Se pudo obtener el genoma completo de 4 cepas de este virus, dos eran pertenecientes a Pingüino Barbijo y las otras dos de pingüino Papúa; por lo que las denominaron CSPAdV3, CSPAdV-4, GPAdV-4 y GPAdV-5 respectivamente. Además, el análisis filogenético respaldó la clasificación de este adenovirus en el género Siadenovirus.

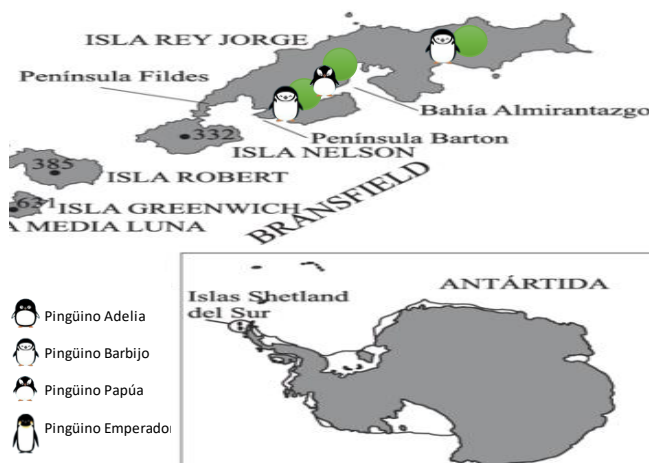


Figura 11. Mapa de lugares y pingüinos antárticos en donde se encontró evidencia de Adenovirus (Elaboración propia).

A pesar de esto, los genomas de CSPAdV-1 son únicos, ya que carecen del gen de sialidasa que es característico de otros genomas en este género. Otro resultado importante fue que en los órganos internos de los pingüinos se detectó una alta cantidad del virus en riñón, pulmón, hígado, corazón, intestino, tráquea, bazo y heces; lo cual indicaría que este virus causa infecciones sistémicas en los pingüinos. (Lee *et al.*, 2016).

Papillomavirus

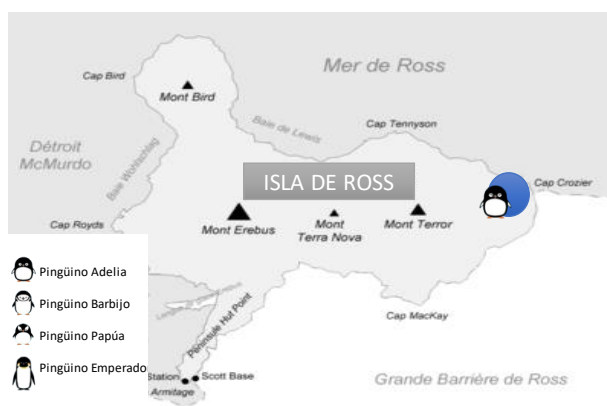


Figura 12. Mapa del lugar y pingüino antártico en donde se encontró evidencia de Papillomavirus (Elaboración propia).

Han sido identificados hasta el momento dos virus del papiloma en pingüino antártico, Virus del papiloma *Pygoscelis adeliae* tipo 1 (PaPV1) y Virus del papiloma de *Pygoscelis adeliae* tipo 2 (PaPV2) (Varsani *et al.*, 2014 Van Doorslaer *et al.*, 2017). El primer informe en donde se detectó fue en la Antártica a partir de heces de pingüinos Adelia en Cape Crozier, isla Ross (Figura 12). El genoma del nuevo virus encontrado contenía cuatro proteínas

(dominios E1, E2, L1 y L2) que se encuentran bien conservadas en todos los virus del papiloma (Varsani *et al.*, 2014). Además, compartió un 60% de identidad con los genomas de otros tres virus del papiloma aviar conocidos (FcPV1, FIPV1 y PePV1). No evidenciaron ninguna enfermedad cutánea, papilomas o carcinomas de piel en la colonia de pingüinos muestreados (Varsani *et al.*, 2014). Posteriormente, PaPV2, también fue aislado de *P. adeliae* en el mismo lugar del estudio anterior. Este virus (PaPV2) comparte una identidad del 64% de todo el genoma con PaPV1 (Van Doorslaer *et al.*, 2017). PaPV1 ha sido asignado al género Treisepsilonpapillomavirus mientras que PaPV2 actualmente no está clasificado, sin embargo, se sugiere que pertenece al mismo género que PaPV1 (Varsani *et al.*, 2014; Van Doorslaer *et al.*, 2017).

Polyomavirus

Barbosa *et al.*, durante el año 2014, informa la presencia de un nuevo patógeno que estaba afectando a polluelos de pingüinos Adelia en Bahía Esperanza. La enfermedad cursaba con pérdida de plumaje no asociado a piojos; sin embargo, no fue concluyente si se trataba de un virus o no. Posteriormente, se detectó un polyomavirus en pingüinos antárticos, siendo el

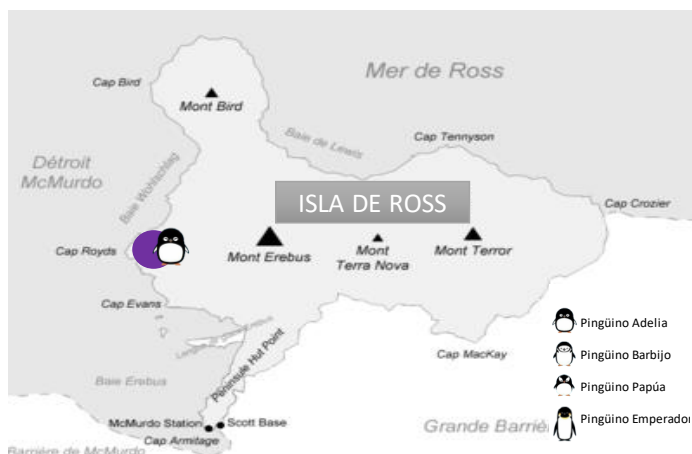


Figura 13. Mapa del lugar y pingüino antártico en donde se encontró evidencia de Polyomavirus (Elaboración propia).

primer poliomasvirus identificado en la Antártica (Varsani *et al.*, 2015; Smeele *et al.*, 2018). Fue encontrado en las heces de pingüinos Adelia en Cape Royds, Isla Ross (Figura 13) (Varsani *et al.*, 2015). La investigación comenzó ubicando bandejas donde los pingüinos Adelia hicieron sus nidos, ahí las heces se iban acumulando, y una vez terminada la temporada de anidación, estas

fueron retiradas y recolectadas las muestras de heces. Así, este método excluye la posibilidad de que las muestras estuvieran contaminadas con heces de otras especies (Varsani *et al.*, 2015). Al analizar las muestras detectaron un virus que compartía un 60% de identidad en su

genoma con otros avipolyomavirus, lo que significaba, que una especie nueva había sido descubierta, la que denominaron *Pygoscelis adeliae* polyomavirus (AdPyV) (Varsani *et al.*, 2015).

Picornavirus

Grimaldi *et al.*, 2015, publican una investigación sobre pérdida de plumas en algunos pingüinos Adelia en donde no se observan ningún ectoparásito. Sin embargo, al realizar PCR a las muestras de sangre recolectadas, se detectaron 3 nuevos virus, los cuales eran similares a picornavirus. No obstante, el estudio no fue concluyente (Grimaldi *et al.*, 2015). Recientemente en el año 2019, se comprobó la presencia de

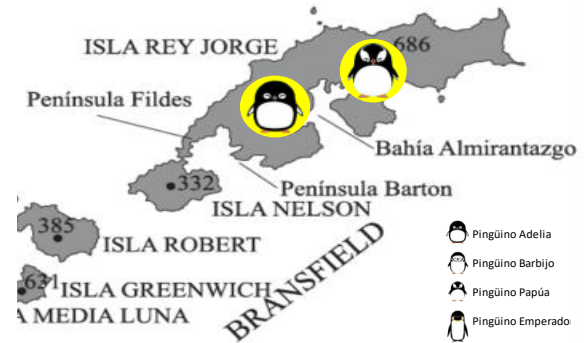


Figura 14. Mapa de lugares y pingüinos antártico en donde se encontró evidencia de Picornavirus (Elaboración propia).

picornavirus en pingüinos antárticos en 2 estudios realizados en la isla Rey Jorge (Figura 14). Primero, Yinda *et al.* en 2019, secuenciaron completamente el genoma de un nuevo megrivirus (Penguin megrivirus) extraído de hisopos cloacales de seis pingüinos Adelia. Por otra parte, De souza *et al.* (2019), lograron detectar a través de RT-PCR un nuevo picornavirus en muestras cloacales de pingüinos Papúa, el que llamaron tentativamente PingPcV. Este nuevo virus (PingPcV), solo fue detectado en Pingüino Papúa; y no; en pingüinos Adelia ni Barbijo, lo que sugiere; que posiblemente infecta específicamente a *P. papua* y no a otras especies. Ambos virus mencionados comparten una identidad de aminoácidos del 38% (De Souza *et al.*, 2019). Los pingüinos muestreados al momento de la recolección no presentaban signos clínicos de la enfermedad, por lo que; los investigadores proponen que este virus pudiese ser endémico y no patógeno en pingüinos (Yinda *et al.*, 2019, De Souza *et al.*, 2019).

Circovirus

En el año 2019 durante la época reproductiva observaron a pingüinos Adelia con trastornos en sus plumas en la isla Ross (Figura 15). Allí tomaron muestras de las heces desde los nidos de estas aves y al secuenciar descubrieron la presencia de circovirus (Morandini *et al.*, 2019). Este virus, comparte un 67% del genoma libre con otros circovirus, representando una nueva especie al cual denominaron penguin circovirus (PenCV) (Morandini *et al.*, 2019). Anteriormente, durante 2014 y 2015

habían tomado muestras cloacales de pingüino adelia desde el mismo lugar pero que no presentaban ningún signo clínico de pérdida de pluma, las cuales al analizarlas posteriormente dieron positivas a este nuevo virus (Morandini *et al.*, 2019). Más recientemente, en el año 2020, Levy *et al.* realizaron un muestreo, tanto a pingüinos Adelia como a pingüinos Barbijo y Papúa, que no presentaban ningún signo clínico aparentemente, en las Islas Shetland del sur y Península Antártica. De estas muestras, tanto de pingüino Adelia como de pingüino Barbijo, fueron positivas a este nuevo circovirus (PenCV) detectado anteriormente (Levy *et al.*, 2020a).

Cressnavirus

Los Cressnavirus es un filo de virus con DNA monocatenario circular, el cual encasilla a muchas especies de virus (Krupovic *et al.*, 2020). Una publicación recientemente realizada en 2020 por Levy *et al.*, reveló la presencia de estos virus desde hisopos cloacales de 3 especies de pingüinos antárticos, Papúa, Barbijo y Adelia, muestreados desde la Península Antártica e islas Shetland del sur (Figura 16). Detectaron la presencia de 97 nuevas secuencias de genes y 57 moléculas circulares virales perteneciente a 45 individuos

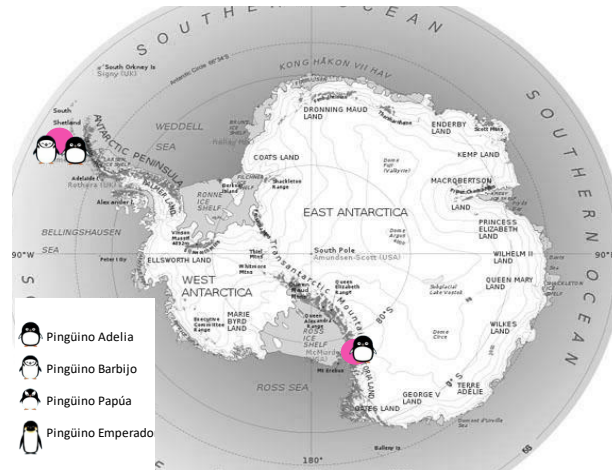


Figura 15. Mapa de lugares y pingüinos antártico en donde se encontró evidencia de Circovirus (Elaboración propia).

muestreados (Levy *et al.*, 2020b). Sin embargo, estos nuevos virus detectados no pertenecen a ninguna de las ocho familias pertenecientes a este Filo. También, se menciona que no es posible establecer una relación en la presencia de estos virus con el género *Pygoscelis*, es

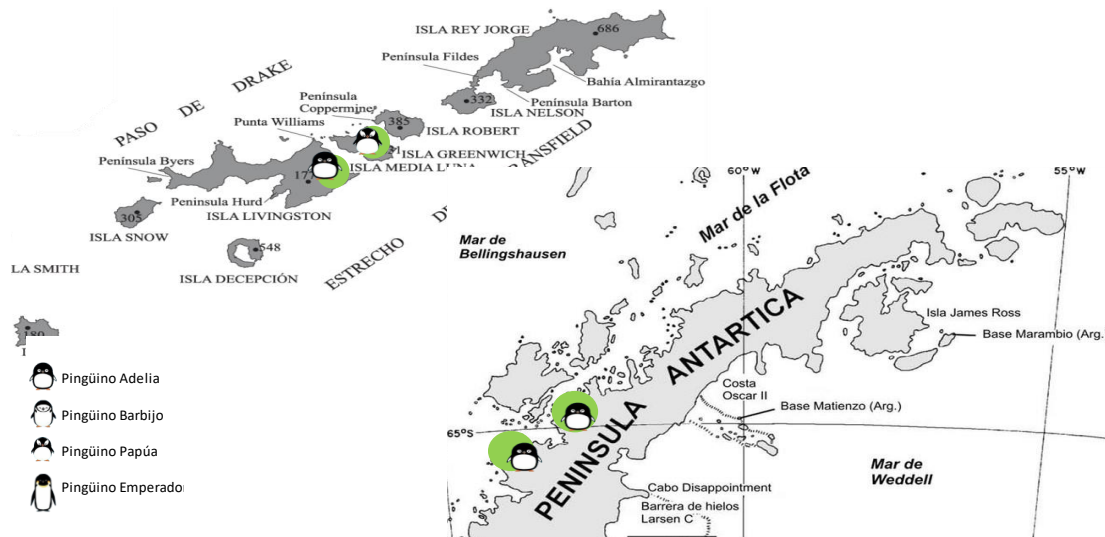


Figura 16. Mapa de lugares y pingüinos antártico en donde se encontró evidencia de Cressdnavirus (Elaboración propia).

decir, no es posible describirlos como hospederos hasta el momento (Levy *et al.*, 2020b).

Clasificación de las publicaciones: Se recopiló información para nueve especies de virus detectados en pingüinos antárticos, siendo los Paramyxovirus los que poseen más cantidad de publicaciones científicas donde se detectó positivamente el virus (Figura 17). Mientras que Cressdnavirus y Polyomavirus solo poseen una publicación.

Número de publicaciones por cada virus detectado en pingüino antártico

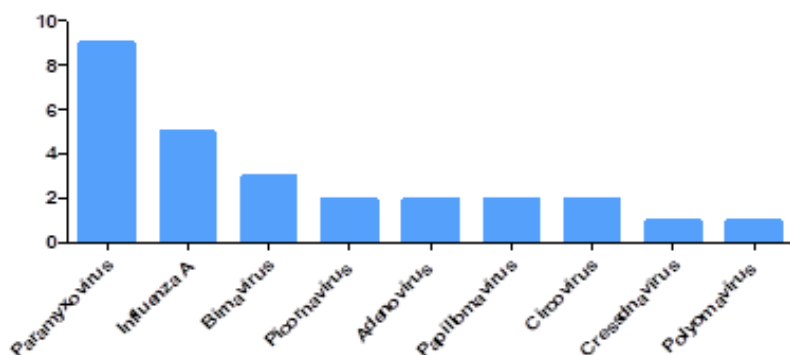




Figura 18. Gráfico Número de publicaciones realizadas en cada especie de pingüino antártico (Elaboración propia, GraphPad Prism).

También, podemos observar que los pingüinos Adelia representa la especie con mayor cantidad de publicaciones, en las cuales se han detectado 9 virus, siendo 23 publicaciones en total (Figura 18). En cambio, para pingüino Emperador, sólo se ha podido encontrar una especie de virus, Birnavirus, con 2 publicaciones referente a este. En cuanto a los pingüinos papúas se han detectado 4 especies de virus y para pingüinos Barbijo han sido detectados cinco virus. Para los pingüinos Barbijo aún no existen publicaciones con detección de virus Picornavirus, en cambio en pingüinos Papúa no se ha registrado la presencia de Circovirus. Además, en ambas especies nombradas anteriormente no se ha encontrado ni Birnavirus, Papillomavirus y Polyomavirus (Figura 19, Anexo 4).

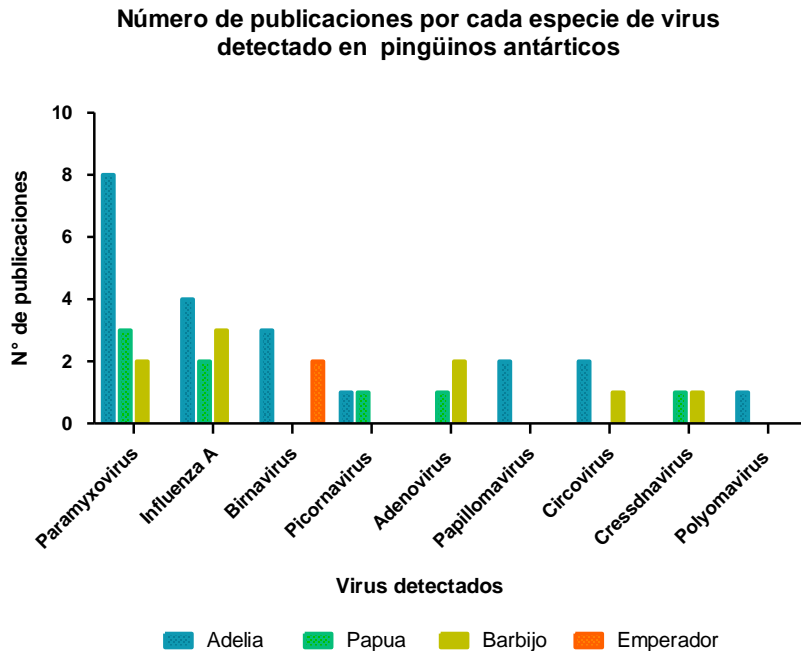


Figura 19. Número de publicaciones realizadas en cada virus por especie de pingüino antártico (Elaboración propia, GraphPad Prism).

La mayoría de las muestras coleccionadas corresponden a hisopos cloacales y sangre (Tabla 1). Otras muestras han sido heces, hisopos traqueales y carcasas de pingüinos. También, se puede apreciar que para la detección de Adenovirus solo fueron tomadas muestras en carcasas de pingüinos, lo cual permitió evidenciar el daño generado por el virus detectado y en qué proporción se encontraba en cada uno de los órganos. Además, algunos investigadores describen que al momento de tomar la muestra de sangre fue complicado, debido a la dificultad de encontrar el capilar contraído por las bajas temperaturas (Morgan y Westbury, 1988; Thomazelli *et al.*, 2010).

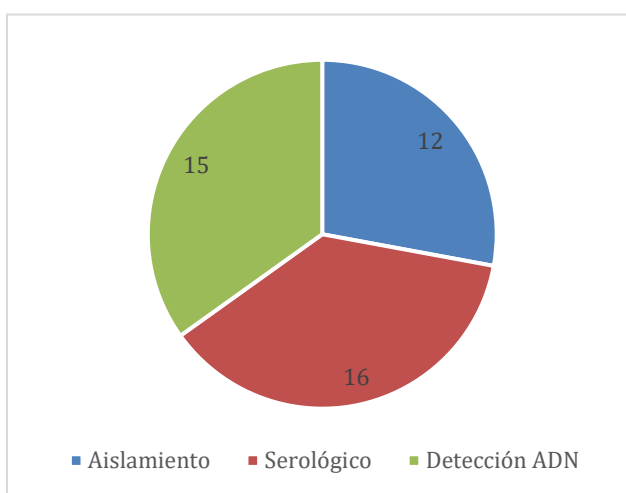


Figura 20. Gráfico Método de detección de virus utilizado en las publicaciones encontradas sobre virus en pingüinos antárticos (Elaboración propia).

En cuanto al análisis de las muestras, la mayoría de las investigaciones han empleado métodos de detección de virus de forma serológica (Figura 20). Sin embargo, se puede apreciar un aumento desde el año 2018 de la detección de material genético, alcanzando la proporción de estudios que se realizaron por serología. El aislamiento viral ha sido posible en algunas especies de virus, como paramyxovirus, Influenza A, Adenovirus, Papillomavirus y Picornavirus (Figura 21). Se puede apreciar que el grupo de Paramyxovirus es el cual acumula más detección serológica. Mientras que Adenovirus, Papilomavirus, Polyomavirus, Circovirus, Picornavirus y Cressdnaviru solo se realizó detección de ADN o aislamiento (Figura 21, Anexo 5).

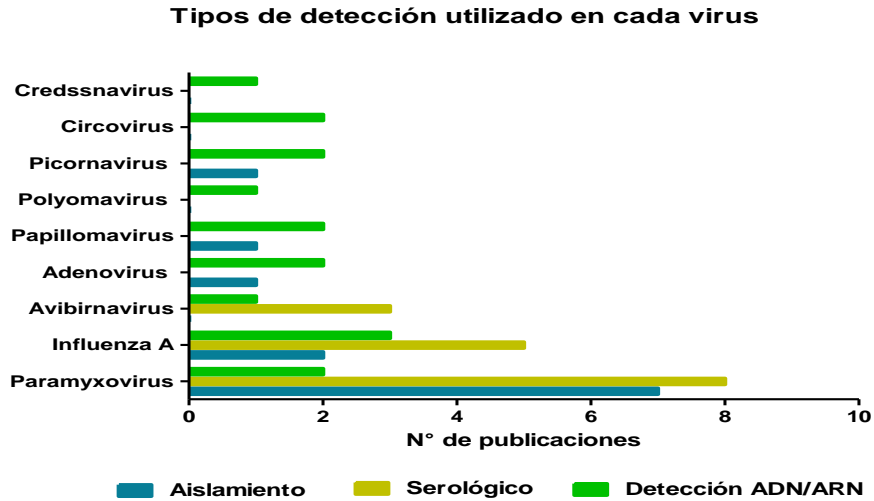


Figura 21. Gráfico método de detección de virus utilizado en cada uno de los virus detectados (Elaboración propia, GraphPad Prism).

Virus detectados en pingüinos antárticos en cautiverio

En cuanto a la búsqueda de artículos con detección de virus en pingüino antártico en cautiverio, solo fue posible encontrar una publicación, Pierson y Pfw, 1975. Esta publicación fue mencionada en varias oportunidades como referencia (Morgan y Westbury, 1981; Clark y Kerry, 2000; Woods *et al.*, 2009, Thomazelli *et al.*, 2009). En ella se describe la muerte de un pingüino Adelia que fue trasladado desde la Antártica a un zoológico de Estados Unidos, donde al llegar se detecta que posee la enfermedad de Newcastle. Se destaca que al momento de captura del animal este no presentaba ninguna signología (Pierson y Pfw, 1975).

DISCUSIÓN

El creciente interés científico a lo largo de los años sobre la Antártica ha permitido la detección de diversos virus en las poblaciones de pingüinos antárticos. Un lugar reconocido por tener un medio ambiente prístino y aislado, y, por ende, la existencia de estos patógenos no debiese ser factible. Sin embargo, como podemos observar hasta el momento se han detectado nueve virus, y algunos de ellos de gran importancia sanitaria (Influenza A, Paramixovirus, Birnavirus).

Durante los últimos años podemos observar un aumento en la detección de virus no registrados anteriormente, esto dado principalmente a los avances tecnológicos que se han desarrollado en la última década (Willie *et al.*, 2019). En un inicio se utilizaba principalmente la serología como método de detección, sin embargo, de esta manera no era posible encontrar nuevos virus (Wood *et al.*, 2009). Sin embargo, el aumento en el uso de detección de material genético a través de PCR, HTS (High throughput sequencing) o RCA (Rolling circle replication), ha facilitado la identificación de nuevos virus que no se creían existente en pingüinos antárticos (Wille *et al.*, 2009; Varsani *et al.*, 2015; Smeele *et al.*, 2018), como lo son Papillomavirus, Polyomavirus, Picornavirus, Circovirus, Creesnavirus.

El registro de muertes masivas es indicativo que algo está presente y afectando a las poblaciones de pingüino, no obstante, en algunas oportunidades no fue posible determinar el agente causal (Barriga *et al.*, 2016; Cristina, 2019). Más recientemente, dado a los avances tecnológicos, como en el caso de Adenovirus y Circovirus, fue posible reconocer al agente infeccioso que estaba causando enfermedad en ciertas colonias de pingüinos antárticos (Lee *et al.*, 2014; Lee *et al.*, 2016; Morandini *et al.*, 2019). A pesar de que estos virus han sido detectados en algunas poblaciones de pingüinos antárticos y en varios lugares del continente, es difícil determinar la verdadera causa de enfermedades o muertes de los pingüinos dada a la amplia cantidad de virus circulando entre sus poblaciones (Thomazelli *et al.*, 2010). En la gran mayoría de las publicaciones no se observaron manifestación clínica de enfermedad. Esto podría significar que la patogenicidad de estos virus es baja o que probablemente los pingüinos antárticos sean asintomáticos a estas enfermedades (Thomazelli *et al.*, 2010; Barbosa *et al.*, 2014; Smeele *et al.*, 2018).

La mayoría de los virus se encuentran en diferente proporción en cada especie de pingüino antártico, sobre todo en pingüino Adelia, especie que ha sido objeto de estudio en una gran cantidad de publicaciones. Esto se puede deber a que la población de pingüino Adelia es abundante en el continente (Morgan y Westbury, 1981; Cristina, 2019). También podemos reconocer sitios en donde existe predominancia de ciertos virus, por ejemplo, paramixovirus, detectado en la mayoría de los lugares muestreados y en 3 de las 4 especies de pingüino, sin embargo, esto no lo podemos determinar si es porque existen lugares donde no se han muestreado para identificar este virus o simplemente no está presente en las poblaciones de estos pingüinos (Thomazelli *et al.*, 2010).

Es impredecible la distribución y dinámica que poseen estos agentes infecciosos en la Antártica (Woods *et al.*, 2009). Al poseer una distribución en parche es difícil determinar la diversidad y dinámica viral en las poblaciones de pingüinos antárticos. Algunas especies de virus han sido detectadas a lo largo de los años en algunas oportunidades en el mismo lugar, por lo cual, ya se habla de que son endémicas del continente, por ejemplo, Paramixovirus, Influenza A y Birnavirus (Smeele *et al.*, 2018; Wood *et al.*, 2009).

Los datos nos proporcionan la evidencia de que los pingüinos son un reservorio de vareados e importantes patógenos para la salud pública. La existencia de virus NDV y cepas de Influenza A, ambos reconocidos por tener una alta morbilidad y mortalidad entre las especies aviares (Ganar *et al.*, 2014; Smeele *et al.*, 2018) e incluso en el caso de Influenza A la cepas H1, H5 y H7 ha generado grandes epidemias entre los seres humanos en las últimas décadas (Harfoot y Webby, 2017; Sutton, 2018; Fasina *et al.*, 2011), nos estaría indicando que los pingüinos podrían estar jugando un papel clave en la epidemiología de estas especies de virus (Thomazelli *et al.*, 2010; Willie *et al.*, 2019). También, la presencia de virus emergentes, que al desconocer su efecto en las poblaciones de pingüinos no sabemos con exactitud qué pueden generar, no tan solo en ellos sino también a las poblaciones de otras aves e incluso el ecosistema (Smeele *et al.*, 2018).

Los virus se han encontrado en diversos lugares de la Antártica, esto podría deberse al aumento de la actividad humana cercana a estas poblaciones de pingüino y que estarían actuando como transportador de fómites (Thomazelli *et al.*, 2010), o que se debe a la repetida

introducción por parte de las aves migratorias (Wallensten *et al.*, 2006, Wood *et al.*, 2009; Thomazelli *et al.*, 2010; Smeele *et al.*, 2018). Ya se ha observado que las aves migratorias pueden diseminar estos agentes infecciosos mientras se desplazan a su lugar de migración (Wood *et al.*, 2009; Thomazelli *et al.*, 2010). A esto, se deben sumar los efectos que pudiese tener el cambio climático al alterar los patrones migratorios de estas aves, lo que podría resultar en introducción de vectores y diseminación de enfermedades de nuevos virus (Thomazelli *et al.*, 2010). La Antártica al poseer solo un dos por ciento de tierra libre de hielo, limita el espacio para realizar actividades, ya sea de reproducción o alimentación, permitiendo que sean vulnerables a transmisiones de enfermedades (Woods *et al.*, 2009; Thomazelli *et al.*, 2010).

La caracterización de la diversidad viral antártica aún se encuentra en desarrollo con un número limitado de investigaciones hasta la fecha. Podemos observar que solo han sido publicado en estos 30 años, 25 publicaciones, existiendo periodos en donde no hay evidencia de virus en pingüinos antárticos. Sin embargo, esto no significa que no se han realizados estudios en la Antártica en esos años. Existe una cantidad de artículos en donde no se ha detectado ningún virus en las poblaciones de pingüinos del continente (Gaunthier-clerck *et al.*, 2002; Briggs *et al.*, 2003; Wallensten *et al.*, 2006; Abad *et al.*, 2013), lo cual podría considerarse un buen indicador de que la diversidad viral es limitada o al contrario, podría estar indicando un sesgo por parte de los investigadores. Dado que esto no nos asegura que en algún determinado momento los pingüinos se encuentren expuestos a estos agentes virales y generar enfermedad. Por lo que es importante entender como es la ecología de estos virus en el continente y el riesgo al que se expone.

En cuanto a evidencia registrada en pingüinos antárticos en cautiverio, solo fue posible encontrar una publicación la que fue realizada hace muchos años atrás (Pierson y Pfow, 1975). En ella se observa que, si es posible que los pingüinos Adelia desarrollen la enfermedad de Newcastle, pero no se reconoce si esto fue debido al estrés que se generó por el traslado del ave o si ya se encontraba enferma, quedando muchas incógnitas (Morgan y Westbury, 1981). Aparte de este estudio, no se logró encontrar más artículos referentes a detección de virus en pingüino antárticos en cautividad, sin embargo, existen otras publicaciones en otras especies de pingüinos en donde se ha visto el desarrollo de otras

enfermedades (Gough *et al.*, 2002, Woods *et al.*, 2009), como birnavirus en pingüinos africano de patas negras y pingüino Macaroni (Jackwood *et al.*, 2005), y un caso de NDV en pingüino Rey (Kraus *et al.*, 1964).

Otro punto importante para considerar, son los países que están liderando las investigaciones en la Antártica, los cuales abarcan muchas disciplinas. Hoy en día son 29 países quienes cuentan con bases científicas en la antártica (INACH, 2018). En el caso de las publicaciones seleccionadas para esta memoria de tesis; los países que estuvieron a cargo financieramente de estas investigaciones fueron Estados Unidos, Australia, Nueva Zelanda, Brazil, Inglaterra, Singapur, Argentina, Corea y Chile (Anexo 6). Siendo Chile quien posee una gran participación en las investigaciones que se seleccionaron en esta memoria de tesis, dado que ha financiado a través de sus proyectos Fondecyt, Conicyt e Instituto antártico chileno 6 de las 25 publicaciones. La investigación en la antártica está en desarrollo, pero es necesario reconocer la importancia de ello y considerar un mayor apoyo a estos proyectos para poder proteger tanto a las especies que ahí habitan como al ecosistema (Woods *et al.*, 2009; Boersman *et al.*; 2019).

El conocimiento acerca de agentes patógenos presentes en pingüinos antárticos es crucial para la apropiada prevención de eventos que permitan la transmisión de enfermedades que puedan afectar la salud pública y animal (Kerry y Riddle, 2009; Pearce and Wilson, 2003; Thomazelli *et al.*, 2010; Smeele *et al.*, 2018)

Dado esto, es importante la realización de estudios que continúen investigando los efectos patológicos y transmisión de estos virus sobre los pingüinos antárticos.

CONCLUSIÓN

Esta monografía organiza toda la información disponible acerca de los agentes virales en pingüinos antárticos, tanto en el continente antártico como en cautiverio, determinando que patógenos y especies de pingüinos han recibido mayor atención por parte de la comunidad científica. Evaluando así la frecuencia de publicaciones, distribución y metodología de detección de estos patógenos.

Siendo esta, una pequeña muestra de la diversidad de virus que podrían estar afectando a las especies de pingüinos antárticos, exponiendo el riesgo al cual se está enfrentando la avifauna del continente hoy en día.

Identificar adecuadamente el ingreso de estos agentes infecciosos al continente antártico sería interesante de reconocer, dado que de esta forma se pueden tomar medidas adecuadas para evitar o disminuir posibles impactos negativos en las poblaciones de aves. La participación de aves migratorias en la entrada y transmisión de estos virus a la Antártica, sobre todo, de especies como Influenza A, Paramyxovirus e Birnavirus, explicaría la presencia de estas enfermedades en el continente.

El avance tecnológico en los últimos años ha mejorado la detección de patógenos, lo que ha permitido que se realicen una mayor cantidad de investigaciones para descubrir nuevos virus en lugares tan remotos como lo es la Antártica. Por lo anteriormente dicho, estos datos permiten ampliar los conocimientos y evidenciar la gran cantidad y diversidad de virus presentes entre las poblaciones de pingüinos antárticos.

El desarrollo de esta monografía es importante como base para iniciar estudio en puntos aún sin resolver sobre epidemiología, signos clínicos, vías de transmisión y riesgos que podría enfrentarse las poblaciones de estas especies de pingüinos en la Antártica.

La creciente y actual evidencia que se recopiló en esta revisión bibliográfica demuestra que los pingüinos antárticos son hospederos de diversos agentes virales con potencial de enfermedad. Lo cual, servirá como línea de base para ayudar a la comunidad a conocer sobre estos virus y generar más instancias de estudio dentro del territorio a futuro.

Es importante que se sigan realizando este tipo de recopilación de información, dado que de esta forma se puede observar la salud ecológica, tanto de las poblaciones de pingüinos o del ecosistema antártico y tomar medidas anticipadas a posibles efectos negativos.

BIBLIOGRAFÍA

ABAD, F.; BUSQUETS, N.; SANCHEZ, A.; RYAN, P.; MAJÓ, N.; GONZALEZ-SOLÍS, J. 2013. Serological and virological surveys of the influenza A viruses in Antarctic and sub-Antarctic penguins. *Antarctic Science*, 25(02): 339–344.

ALEXANDER, D. J.; MANVELL, R. J.; COLLINS, M. S.; BROCKMAN, S. J.; WESTBURY, H. A.; MORGAN, I.; AUSTIN, F. J. 1989. Characterization of paramyxoviruses isolated from penguins in Antarctica and sub-Antarctica during 1976-1979. *Archives of Virology*, 109: 135-143.

ALEXANDER, D. J. 2011. Newcastle disease in the European Union 2000 to 2009. *Avian Pathology*, 40(6): 547–558.

ALTIZER, S.; BARTEL, R.; HAN, B. A. 2011. Animal Migration and Infectious Disease Risk. *Science*, 331(6015): 296–302.

ASOCIACION DE ZOOLOGICOS Y AQUARIOS. 2014. Manual para el cuidado de pingüinos (Spheniscidae). [en línea] <
https://assets.speakcdn.com/assets/2332/penguin_acm_spanish_alpza.pdf > [consulta: 15-03-2021]

AUSTIN, F.; WEBSTER, R. 1993. Evidence of ortho and paramyxoviruses in fauna from Antarctica. *Journal of Wildlife Diseases*, 29(4): 568-571.

BARBOSA, A.; PALACIOS, M. J. 2009. Health of Antarctic birds: a review of their parasites, pathogens and diseases. *Polar Biology*, 32(8): 1095–1115.

BARBOSA, A.; COLOMINAS-CIURO, R.; CORIA, N.; CENTURION, M.; SANDLER, R.; NEGRI, A.; SANTOS, M. 2014. First record of feather-loss disorder in Antarctic penguins. *Antarctic Science*, 27, 69–70.

BARRIGA, G.; BORIC-BARGETTO, D.; CORTEZ-SAN MARTIN, M.; NEIRA, V.; VAN BAKEL, H.; THOMPSON, M.; TAPIA, R.; TORO-ASCUY, D.; MORENO, L.; VASQUEZ, Y.; SALLABERRY, M.; TORRES-PÉREZ, F.; GONZÁLEZ-ACUÑA, D.; MEDINA, R. 2016. Avian Influenza Virus H5 Strain with North American and Eurasian Lineage Genes in an Antarctic Penguin. *Emerging Infectious Diseases*, 22 (12): 2221- 2223.

BAUMEISTER, E.; LEOTTA, G.; PONTORIERO, A.; CAMPOS, A.; MONTALTI, D.; VIGO, G.; PECORARO, M.; SAVY, V. 2004. Serological evidences of influenza A virus infection in Antarctica migratory birds. *International Congress Series*, 1263: 737-740.

BOERSMA, P.; BORBOROGLU, P.; GOWNARIS, N.; BOST, C.; CHIARADIA, A.; ELLIS, S.; SCHNEIDER, T.; SEDDON, P.; SIMEONE, A.; TRATHAN, P.; WALLER, L.; WIENECKE, B. 2019. Applying science to pressing conservation needs for penguins. *Conservation Biology*, 34 (1): 103-112.

BOST, C.; DELORD, K.; BARBRAUD, C.; CHEREL, Y.; PÜTZ, K.; COTTÉ, C.; PERÓN, C.; WEIMERSKIRCH, H. 2013. Penguin of the world. Natural History and Conservation. University of Washington Press. Seattle, Estados Unidos. pp 7-79.

BREED, A. C.; HARRIS, K.; HESTERBERG, U.; GOULD, G.; LONDT, B. Z.; BROWN, I. H.; COOK, A. J. C. 2010. Surveillance for Avian Influenza in Wild Birds in the European Union in 2007. *Avian Diseases*, 54(1): 399–404.

BRIAND, F.X.; HENRY, A.; MASSIN, P.; JESTIN, V. 2012. Complete Genome Sequence of a Novel Avian Paramyxovirus. *Journal of Virology*, 86(14): 7710–7710.

BRIGGS, L.C.; ASHTON, R.; METCALF, P. 2003. Development of a highly sensitive screen for influenza A in guano and its application in the search for ancient RNA preserved under Antarctic Adelie penguins. *Avian Diseases*, 47: 1200–1202.

CHONG, Y. L.; PADHI, A.; HUDSON, P. J.; POSS, M. 2010. The Effect of Vaccination on the Evolution and Population Dynamics of Avian Paramyxovirus-1. *PLoS Pathogens*, 6(4).

CLARKE JR; KERRY K. 2000. Diseases and parasites of penguins. *Penguin Conservation*, 13: 5-24

CONDE, D.A.; FLESNESS, N.; COLCHERO, F.; JONES, O.R.; SCHEUERLEIN, A. 2013. An emerging roll of zoos to conserve biodiversity. *Science*, 331(6023): 1390-1391.

COUVE, E.; VIDAL, C.; RUIZ, J. 2016. Aves de Chile sus islas oceánicas y península Antártica. *Far south. Punta Arenas, Chile.* pp 554.

CRISTINA, J. 2019. Molecular biology of RNA viruses isolated in Antarctica. *The ecological role of micro-organisms in the Antarctic Environment.* Springer Polar Sciences. Springer, Cham. pp 197-217.

DELMAS, D.; ATTOUI, H.; GHOSH, S.; MALIK, Y.S.; MUNDT, E.; VAKHARIA, V.N. 2019. ICTV Virus Taxonomy Profile: *Birnaviridae*. *Journal of General Virology*, 100:5–6.

DE SOUZA, W.M.; FUMAGALLI, M. J.; MARTIN, M. C.; DE ARAUJO, J.; ORSI, M. A.; SANFILIPPO, L. F.; MODHA, S.; DURIGON, E. L.; PROENCA-MODENA, J. L.; WEISARNS, C.; MURCIA, P. R.; FIGUEIREDO, L. 2019. Pingu virus: A new picornavirus in penguins from Antarctica. *Virus Evolution*, 5(2).

DIMITROV, K. M.; RAMEY; A. M.; QIU, X.; BAHL, J.; AFONSO, C. L. 2016. Temporal, geographic, and host distribution of avian paramyxovirus 1 (Newcastle disease virus). *Infection, Genetics and Evolution*, 39: 22–34.

FASINA, F.; RIVAS, A.; BISSCHOP, S.; STEGEMAN, A.; HERNANDEZ, J. 2011. Identification of risk factors associated with highly pathogenic avian influenza H5N1 virus infection in poultry farms, in Nigeria during the epidemic of 2006–2007. *Preventive Veterinary Medicine*, 98(2-3): 204–208.

FULLER, T.; BENSCH, S.; MÜLLER, I.; NOVEMBRE, J.; PÉREZ-TRIS, J.; RICKLEFS, R. E.; WALDENSTRÖM, J. 2012. The Ecology of Emerging Infectious Diseases in Migratory Birds: An Assessment of the Role of Climate Change and Priorities for Future Research. *EcoHealth*, 9(1): 80–88.

GANAR, K.; DAS, M.; SINHA, S.; KUMAR, S. 2014. Newcastle disease virus: Current status and our understanding. *Virus Research*, 184: 71-81.

GARDNER, H.; KERRY, K.; RIDDLE, M.; BROUWER, S.; GLEESON, L. 1997. Poultry virus infection in Antarctic penguins. *Nature*, 387 (6630): 245.

GAUTHIER-CLERC, M.; ETERRADOSSI, N.; TOQUIN, D.; GUITTET, M.; KUNTZ, G.; LE MAHO, Y. 2002. Serological survey of the king penguin, *Aptenodytes patagonicus* in Crozet Archipelago for antibodies to infectious bursal disease, influenza A and Newcastle disease viruses. *Polar Biology*, 25 (4): 316–319.

GOGOI, P.; GANAR, K.; KUMAR, S. 2015. Avian Paramyxovirus: A Brief Review. *Transboundary and Emerging Diseases*, 64(1): 53-67.

GONZÁLEZ-ACUÑA, D.; HERNÁNDEZ, J.; MORENO, L.; HERRMANN, B.; PALMA, R.; LATORRE, A.; OLSEN, B. 2013. Health evaluation of wild gentoo penguins (*Pygoscelis papua*) in the Antarctic Peninsula. *Polar Biology*, 36(12): 1749–1760.

GOUGH, R.; DRURY, S.; WELCHMAN, D.; CHITTY, J.; SUMMERHAYS, G. 2002. Isolation of Birnavirus and Reovirus-like agents from penguins in the United Kingdom. *Veterinary Record*, 151: 422–424.

GRIMALDI, W.; JABOUR, J.; WOEHLE, E. J. 2011. Considerations for minimizing the spread of infectious disease in Antarctic seabirds and seals. *Polar Record*, 47 (240): 56-66.

GRIMALDI, W.; SEDDON, P. J.; LYVER, P.; NAKAGAWA, S.; TOMPKINS, D. M. 2014. Infectious diseases of Antarctic penguins: current status and future threats. *Polar Biology*, 38(5): 591-606.

GRIMALDI WW.; HALL, RJ.; WHITE, DD.; WANG, J.; MASSARO, M.; TOMPKINS, DM. 2015. First report of a feather loss condition in Adélie penguins (*Pygoscelis adeliae*) on Ross Island, Antarctica, and a preliminary investigation of its cause. *Emu*, 115: 185–189.

GRIMALDI, W.; AINLEY, D. G.; MASSARO, M. 2018. Multi-year serological evaluation of three viral agents in the Adélie Penguin (*Pygoscelis adeliae*) on Ross Island, Antarctica. *Polar Biology*,

GUNNARSSON, G.; LATORRE-MARGALEF, N.; HOBSON, K. A.; VAN WILGENBURG, S. L.; ELMBERG, J.; OLSEN, B.; WALDENSTRÖM, J. 2012. Disease Dynamics and Bird Migration—Linking Mallards *Anas platyrhynchos* and Subtype Diversity of the Influenza A Virus in Time and Space. *PLoS ONE*, 7(4).

HARFOOT, R.; WEBBY, R. 2017. H5 influenza, a global update. *Journal of Microbiology*, 55(3):196–203.

HURT, A.C.; VIJAYKRISHNA, D.; BUTLER, J.; BAAS, C.; MAURER-STROH, S.; SILVA-DE-LA-FUENTE, M.C.; MEDINA-VOGEL, G.; OLSEN, B.; KELSO, A.; BARR, I.G.; GONZALEZ-ACUNA, D. 2014. Detection of evolutionarily distinct avian influenza A viruses in Antarctica. *mBio*, 5(3): 1098–1014.

HURT, AC.; SU, YC.; ABAN, M.; PECK, H.; LAU, H.; BAAS, C.; DENG, Y-M.; SPIRASON, N.; ELLSTRÖM, P.; HERNANDEZ, J. 2016. Evidence for the introduction, reassortment, and persistence of diverse influenza A viruses in Antarctica. *Journal Virology*, 90: 9674–9682.

INSTITUTO ANTÁRTICO CHILENO. 2017. Los Pingüinos Antárticos. [en línea] <<http://www.inach.cl/inach/wp-content/uploads/2017/11/PINGUINOS-3-L.pdf>> [consulta: 06-01-2021].

INSTITUTO ANTÁRTICO CHILENO. 2018. Enciclopedia Visual de la Antártica. [en línea] <https://www.inach.cl/inach/?page_id=8680> [Consulta: 02-07-2021].

JACKWOOD, D.; SOMMER, S.; GOUGH, R.; DRURY, S.; WELCHMAN, D.; CHITTY, J.; SUMMERHAYS, G. 2005. Sequence analysis of an Infectious Bursal Disease Virus isolated from penguins in the United Kingdom. *Veterinary Record*, 156: 550–552.

JACKWOOD, D.J.; GOUGH, R.E.; SOMMER, S.E. 2015; Nucleotide and amino acid sequence analysis of a birnavirus isolated from penguins. *Veterinary Record*, 156: 550-552.

JARAMILLO, A.; BURKE, P.; BEADLE, D. 2014. *Aves de Chile*. Lynx edicions. Barcelona, España. pp 59-63.

JIMÉNEZ-BLUHM, P.; KARLSSON, E. A.; FREIDEN, P.; SHARP, B.; DI PILLO, F.; OSORIO, J. E.; SCHULTZ-CHERRY, S. 2018. Wild birds in Chile Harbor diverse avian influenza A viruses. *Emerging Microbes & Infections*, 7(1).

KALTHOFF, D.; GLOBIG, A.; BEER, M. 2010. (Highly pathogenic) avian influenza as a zoonotic agent. *Veterinary Microbiology*, 140(3-4): 237–245.

KARAMENDIN, K.; KYDYRMANOV, A.; SEIDALINA, A.; ASANOVA, S.; DAULBAYEVA, K.; KASYMBEKOV, Y.; KHAN, E.; FEREDOUNI, S.; STARICK,

E.; ZHUMATOV, K.; SAYATOV, M. 2016. Circulation of avian paramyxoviruses in wild birds of Kazakhstan in 2002-2013. *Virology Journal*, 13(1): 23.

KELLY, P.; STACK, D.; HARLEY, J. 2013. A review of the proposed reintroduction program for the far eastern leopard (*Panthera pardus orientalis*) and the role of conservation organizations, veterinarians, and zoos. *Topics in Companion Animal Medicine*, 18: 163-166.

KERRY, K.; IRVINE, L.; BEGGS, A.; WATTS, J. 2009. An unusual mortality event among Adélie penguins in the vicinity of Mawson Station, Antarctica. *In: Health of Antarctic wildlife*, 107– 112.

KERRY, K.; RIDDLE, M. 2009. Health of Antarctic wildlife: an introduction. *In: Health of Antarctic Wildlife*. Springer Berlin Heidelberg, pp. 1–10.

KRAUSS, S.; WEBSTER, R. G. 2010. Avian Influenza Virus Surveillance and Wild Birds: Past and Present. *Avian Diseases*, 54(1): 394–398.

KRUPOVIC, M., VARSANI, A., KAZLAUSKAS, D., BREITBART, M., DELWART, E., ROSARIO, K.; KOONIN, E. V. 2020. Cressdnaviricota: a virus phylum unifying 7 families of Rep-encoding viruses with single-stranded, circular DNA genomes. *Journal of Virology*, 94.

LANG, A. S.; LEBARBENCHON, C.; RAMEY, A. M.; ROBERTSON, G. J.; WALDENSTRÖM, J.; WILLE, M. 2016. Assessing the Role of Seabirds in the Ecology of Influenza A Viruses. *Avian Diseases*, 60(1): 378–386.

LEE, S.Y.; KIM, J.H., PARK, Y.M.; SHIN, O.S.; KIM, H.; CHOI, H.G.; SONG, J.W. 2014. A novel adenovirus in Chinstrap penguins (*Pygoscelis antarctica*) in Antarctica. *Viruses*, 6(5): 2052–2061.

LEE, S.Y.; KIM, J.H.; SEO, T.K.; NO, J.S.; KIM, H.; KIM, W.K.; CHOI, H.G.; KANG, S.H.; SONG, J.W. 2016. Genetic and molecular epidemiological characterization of a novel adenovirus in antarctic penguins collected between 2008 and 2013. PLoS One, 11(6).

LEVY, H.; FIDDAMAN, S.; DJURHUUS, A.; BLACK, C. E; KRABERGER, S.; SMITH, AL.; VARSANI, A. 2020a. Identification of Circovirus Genome in a Chinstrap Penguin (*Pygoscelis antarcticus*) and Adélie Penguin (*Pygoscelis adeliae*) on the Antarctic Peninsula. Viruses, 12(8): 858

LEVY, H.; FONTENELE, R. S.; HARDING, C.; SUAZO, C.; KRABERGER, S.; SCHMIDLIN, K.; VARSANI, A. 2020b. Identification and Distribution of Novel Cressdnaviruses and Circular Molecules in Four Penguin Species in South Georgia and the Antarctic Peninsula. Viruses, 12(9): 1029.

MAC DONALD, J.; CONROY, J. 1971. Virus disease resembling pufinosis in the gentoo penguin *Pygoscelis papua* on Signy Island South Orkney Islands. British Antarctic Survey Bulletins, 80–82.

MAHGOUB, H. A. 2012. An overview of infectious bursal disease. Archives of Virology, 157(11): 2047–2057.

MCCAULEY, J.W.; HONGO, S.; KAVERIN, N.V.; KOCHS, G.; LAMB, R.A.; MATROSOVICH, M.N.; PEREZ, D.R.; PALESE, P.; PRESTI, R.M.; RIMSTAD, E. 2019. Family *Orthomyxoviridae*. [en línea]. Virus Taxonomy: Release, International Committee on Taxonomy of Viruses. <https://talk.ictvonline.org/ictv-reports/ictv_9th_report/negative-sense-rna-viruses-2011/w/negrna_viruses/209/orthomyxoviridae> [consulta: 06-01-2021].

MILLER, P. J.; AFONSO, C. L.; SPACKMAN, E.; SCOTT, M. A.; PEDERSEN, J. C.; SENNE, D. A.; BROWN, J. D.; FULLER, C. M.; UHART, M. M.; KARESH, W. B.;

BROWN, I, H.; ALEXANDER, D. J.; SWAYNE, D. E. 2010. Evidence for a New Avian Paramyxovirus Serotype 10 Detected in Rockhopper Penguins from the Falkland Islands. *Journal of Virology*, 84(21): 11496-11504.

MORANDINI, V.; DUGGER, K.M.; BALLARD, G.; ELROD, M.; SCHMIDT, A.; RUOPPOLO, V.; LESCROEL, A.; JONGSOMJIT, D.; MASSARO, M.; PENNYCOOK, J. 2019. Identification of a novel adelic penguin circovirus at cape crozier (Ross Island, Antarctica). *Viruses*, 11: 1088.

MORE, S.; BICOUT, D.; BÖTNER, A.; BUTTERWORTH, A.; CALISTRI, P.; DEPNER, K.; EDWARDS, S.; GARIN-BASTUJI, B.; GOOD, M.; SCHMIDT, C. G.; MICHEL, V.; MIRANDA, M.; NIELSEN, S.S.; RAJ, M.; SIHVONEN, L.; SPOOLDER, H.; THULKE, H. H.; VELARDE, A.; WILLEBERG, P.; WINCKLER, C.; BREED, A.; BROUWER, A.; GUILLEMAIN, M.; HARDER, T.; MONNE, I.; ROBERTS, H.; BALDINELLI, F.; BARRUCCI, F.; FABRIS, C.; MARTINO, L.; MOSBACH-SCHULZ, O.; VERDONCK, F.; MORGADO, J.; AREND, J. 2017. Avian influenza. *EFSA Journal*, 15(10): 4991.

MORGAN, K.; TROMBORG, C. 2007. Sources of stress in captivity. *Applied Animal Behaviour Science*, 102: 262-302.

MORGAN, I.; WESTBURY, H. 1981. Virological Studies of Adelie Penguins (*Pygoscelis adeliae*) in Antarctica. *Avian Diseases*, 25(4): 1019-1026.

MORGAN, I.; WESTBURY, H. 1988. Studies of viruses in penguins in the Vestfold Hills. *Hydrobiologia*, 165: 263–269.

NEIRA, V.; TAPIA, R.; VERDUGO, C; BARRIGA, G.; MOR, S.; FEI, T.; GARCÍA, V.; DEL RÍO, J.; RODRIGUES, P.; BRICEÑO, C.; MEDINA, R.; GONZÁLEZ, D. 2017. Novel Avulaviruses in penguins, Antarctica. *Emerging Infectious Diseases*, 23(7): 1212-1214.

OLIVARES, F.; TAPIA, R.; GÁLVEZ, C.; MEZA, F.; BARRIGA, G.; BORRAS-CHAVEZ, R.; MENA-VASQUEZ, J.; MEDINA, R.; NEIRA, V. 2019. Novel penguin Avian avulaviruses 17, 18 and 19 are widely distributed in the Antarctic Peninsula. *Transboundary and Emerging Diseases*, 66(6): 1–6.

OLUWAYELU, D. O.; ADEBIYI, A. I.; OLANIYAN, I.; EZEWELE, P.; AINA, O. 2014. Occurrence of Newcastle Disease and Infectious Bursal Disease Virus Antibodies in Double-Spurred Francolins in Nigeria. *Journal of Veterinary Medicine*, 1–5.

PEARCE, D.; WILSON, W. 2003. Viruses in Antarctic ecosystems. *Antarctic Science*, 15(3): 319–331.

PIERSON, G.; PFOW, C. 1975. Newcastle disease surveillance in the United States. *Journal of American Veterinary Medical Association*, 167: 801–803.

RAHMAN, A.; MUNIR, M.; ZUBAIR, M. 2018. Comparative evolutionary and phylogenomic analysis of Avian avulaviruses 1 to 20. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 127: 931-951.

RIMA, B.; BALKEMA-BUSCHMANN, A.; DUNDON, W.; DUPREX, P.; EASTON, A.; FOUCHIER, R.; KURATH, G.; LAMB, R.; LEE, B.; ROTA, P.; WANG, L. 2019. ICTV Virus Taxonomy Profile: *Paramyxoviridae*. *Journal of General Virology*, 100: 1593–1594.

SMEELE, Z.; AINLEY, D.; VARSANI, A. 2018. Viruses associated with Antarctic wildlife: From serology-based detection to identification of genomes using high throughput sequencing. *Virus Research*, 243: 91-105.

SUTTON, T. 2018. The Pandemic Threat of Emerging H5 and H7 Avian Influenza Viruses. *Viruses*, 10(9): 461.

TAMMIRANTA, N.; EK-KOMMONEN, C.; ROSSOW, L.; HUOVILAINEN, A. 2018. Circulation of very virulent avian infectious bursal disease virus in Finland. *Avian Pathology*, 1–16.

THOMAZELLI, L.; ARAUJO, J.; OLIVEIRA, D.; SANFILIPPO, L.; FERREIRA, C.; BRENTANO, L.; PELIZARI, V.; NAKAYAMA, C.; DUARTE, R.; HURTADO, R.; BRANCO, J.; WALKER, D.; DURIGON, E. 2010. Newcastle disease virus in penguins from King George Island on the Antarctic region. *Veterinary Microbiology*, 146: 155–160.

UHART, M. M.; GALLO, L.; QUINTANA, F. 2017. Review of diseases (pathogen isolation, direct recovery and antibodies) in albatrosses and large petrels worldwide. *Bird Conservation International*, 28(02): 169–196.

VANDEGRIFT, K. J.; SOKOLOW, S. H.; DASZAK, P.; KILPATRICK, A. M. 2010. Ecology of avian influenza viruses in a changing world. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1195(1): 113–128.

VAN DOORSLAER, K., RUOPPOLO, V., SCHMIDT, A., LESCROËL, A., JONGSOMJIT, D., ELROD, M., KRABERGER, S., STANTON, D., DUGGER, K.M., BALLARD, G., AINLEY, D.G., VARSANI, A., 2017. Unique genome organization of non-mammalian papillomaviruses provides insights into the evolution of viral early proteins. *Virus Evolution*, 3(2):27.

VARSANI, A.; KRABERGER, S.; JENNINGS, S.; PORZIG, E.L.; JULIAN, L.; MASSARO, M.; POLLARD, A.; BALLARD, G.; AINLEY, D.G. 2014. A novel papillomavirus in Adelie penguin (*Pygoscelis adeliae*) faeces sampled at the Cape Crozier colony, Antarctica. *Journal of General Virology*, 95(6): 1352–1365.

VARSANI, A.; PORZIG, E. L.; JENNINGS, S.; KRABERGER, S.; FARKAS, K.; JULIAN, L.; MASSARO, M.; BALLARD, G.; AINLEY, D. G. 2015. Identification of an

avian polyomavirus associated with Adelie penguins (*Pygoscelis adeliae*). Journal of General Virology, 96: 851–857.

WALLENSTEN, A.; MUNSTER, V.; OSTERHAUS, A.; WALDENSTRO M.; BONNEDAHL, J.; BROMAN, T.; FOUCHIER, R.A.M.; OLSEN, B. 2006.

Mounting evidence for the presence of influenza A virus in the avifauna of the Antarctic region. Antarctic Science, 18: 353–356.

WATTS, J.M.; MILLER, G.D.; SHELLAM, G.R. 2009. Infectious Bursal Disease Virus and Antarctic Birds. Springer, 95–105.

WILLE, M.; ABAN, M.; WANG, J.; MOORE, N.; SHAN, S.; MARSHALL, J.; GONZÁLEZ-ACUÑA. D.; VIJAYKRISHNA, D.; BUTLER, J.; WANG, J.; HALL, R.J.; WILLIAMS, DT.; HURT, AC. 2019. Antarctic penguins as reservoirs of diversity for avian avulaviruses. Journal Virology, 93: 271-19.

WILLE, M.; HARVEY, E.; SHI, M.; GONZALEZ-ACUÑA, D.; HOLMES, E.; HURT, A. 2020. Sustained RNA virome diversity in Antarctic penguins and their ticks. ISME Journal, 14: 1768–1782.

WOODS R.; JONES H.I.; WATTS J.; MILLER G.D.; SHELLAM G.R. 2009. Diseases of Antarctic Seabirds. **In:** Kerry K.R., Riddle M. (Eds.). Health of Antarctic Wildlife. Springer, Berlin, Heidelberg.

YINDA, C. K.; ESEFELD, J.; PETER, H. U; MATTHIJNSSENS, J.; ZELL, R. 2019. Penguin Megrivirus, a Novel Picornavirus from an Adelie Penguin (*Pygoscelis adeliae*). Archives of Virology, 164: 2887.

ANEXOS

Anexo 1. Esquema de trabajo para la búsqueda de información (Elaboración propia)



Anexo 2. Tabla con lugares muestreados en las publicaciones encontradas sobre virus en pingüinos antárticos (Elaboración propia).

Lugares muestreados	Pingüino	Virus detectado
Tierra Victoria		
Ross Island	Adelia	Paramyxovirus, Birnavirus, Papillomavirus, Polyomavirus, Circovirus
Cape Washington	Emperador	Birnavirus
Tierra Wilkes		
Wilkes base	Adelia	Paramyxovirus
Isla Peterson	Adelia	Paramyxovirus, Influenza A
Midgley Island	Adelia	Paramyxovirus
Shirley Island	Adelia	Paramyxovirus
Cameron Island	Adelia	Paramyxovirus
Chappel Island	Adelia	Paramyxovirus
Tierra Mac Robertson		
Mawson	Emperador, Adelia	Birnavirus
Auster Rookery	Emperador	Birnavirus
Tierra Princesa Isabel		
Estación Davis	Adelia	Paramyxovirus, Birnavirus

Península		
Isla Kopaitic	Adelia, Papúa	Paramyxovirus, Influenza A
Isla Anvers	Adelia	Paramyxovirus
Isla Doumer	Papúa	Paramyxovirus
Base Paraiso	Papúa	Paramyxovirus
Puerto Charcot	Adelia, Barbijo, Papúa	Cressdnavirus, Circovirus
George Point	Barbijo, Papúa	Cressdnavirus
Bahía Esperanza	Adelia	Influenza
Isla avian	Adelia	Paramyxovirus
Islas Shetland del sur		
Isla Rey Jorge	Adelia, Barbijo, Papúa	Paramyxovirus, Influenza A, Adenovirus, Picornavirus
Isla Livingstone	Barbijo, Papúa	Paramyxovirus, Influenza A
Isla Aitcho	Barbijo, Papúa	Influenza A
Isla Greenwich	Papúa	Cressdnavirus
Isla Half Moon	Barbijo	Cressdnavirus
Tierra Adelia	Adelia	Paramyxovirus

Anexo 3. Tabla con número de especies de virus detectados en cada lugar muestreado en las publicaciones encontradas (Elaboración propia)

Lugares muestreados	Columna1	Paramixovirus	Influenza A	Birnavirus	Adenovirus	Papillomavirus	Circovirus	Polyomavirus	Crossidnavirus	Picornavirus	Tótal
Tierra Victoria	Ross Island	3		2		2	1				10
	Cape Washington			1							
Tierra Wilkes	Wilkes base	2									9
	Isla Peterson	2	1								
	Midgley Island	1									
	Shirley Island	1									
	Cameron Island	1									
	Chappel Island	1									
Tierra Mac Robertson											3
	Mawson			1							
	Auster Rookery			2							
Tierra Princesa Isabel											2
	Estacion Davis	1		1							
Península											12
	Isla Kopatic	2	2								
	Isla Anvers	1									
	Isla Dourner	1									
	Base Paraiso	1									
	Puerto Charcot						1			1	
	George Point									1	
	Bahia Esperanza				1						
	Isla avian	1									
Islas Shetland del sur											20
	Isla Rey Jorge	5	4		4					2	
	Isla Livingstone	1	1								
	Isla Aitcho		1								
	Isla Greenwich									1	
	Isla Half Moon									1	
Tierra Adelia											1
	Dumont Duvville			1							

Anexo 4. Tabla con número de publicaciones realizadas en cada virus por especie de pingüino antártico (Elaboración propia).

Virus publicados	Adelia	Papua	Barbijo	Emperador	Total publicaciones
Paramyxovirus	8	3	2	-	9
Influenza A	4	2	3	-	5
Birnavirus	3	-	-	2	3
Picornavirus	1	1	-	-	2
Adenovirus	-	1	2	-	2
Papillomavirus	2	-	-	-	2
Circovirus	2	-	1	-	2
Cressnavirus	-	1	1	-	1
Polyomavirus	1	-	-	-	1
Total	21	9	9	2	28

Anexo 5. Tabla con métodos de detección de virus utilizados en las publicaciones encontradas (Elaboración propia).

Virus	Autor	Método	Técnica
Paramixovirus	Morgan y Westbury, 1981	Serológico	HA, HI
		Aislamiento Viral	
	Morgan y Westbury, 1988	Aislamiento viral	
	Alexander <i>et al.</i> , 1989	Serológico	HI, IDD
		Aislamiento Viral	
	Austin y Webster, 1993	Serológico	EIA, HI, N-I
		Aislamiento Viral	
	Thomazelli <i>et al.</i> , 2010	Detección ADN/ARN	qPCR
		Serológico	HI
		Aislamiento Viral	
	Neira <i>et al.</i> , 2017	Detección ADN/ARN	RT-PCR
		Serológico	HI
		Aislamiento Viral	

	Grimaldi <i>et al.</i> , 2018	Serológico	HI
	Olivares <i>et al.</i> , 2019	Serológico	HI
	Wille <i>et al.</i> , 2019	Serológico	HI
		Aislamiento Viral	
Influenza A	Morgan y Westbury, 1981	Serológico	HI, Inmunodifusión
	Baumeister <i>et al.</i> , 2004	Serológico	HI
	Wallenster <i>et al.</i> , 2006	Serológico	ELISA
	Hurt <i>et al.</i> , 2014	Detección ADN/ARN	RT-PCR
		Serológico	ELISA
		Aislamiento Viral	
	Hurt <i>et al.</i> , 2016	Detección ADN/ARN	RT-PCR
		Serológico	NP, ELISA, HI
		Aislamiento Viral	
	Barriga <i>et al.</i> , 2016	Detección ADN/ARN	RT-PCR
		Serológico	

Avibirnavirus	Gardner <i>et al.</i> , 1997	Serológico	VNT
	Watts <i>et al.</i> , 2009	Serológico	VNT
		Detección ADN/ARN	RT-PCR
	Grimaldi <i>et al.</i> , 2018	Serológico	ELISA, VNT
Adenovirus	Lee <i>et al.</i> , 2014	Detección ADN/ARN	PCR
		Aislamiento Viral	
	Lee <i>et al.</i> , 2016	Detección ADN/ARN	RACE-PCR
Papillomavirus	Varsani <i>et al.</i> , 2014	Detección ADN/ARN	RCA DNA
		Aislamiento Viral	
	Van Doorslaer <i>et al.</i> , 2017	Detección ADN/ARN	RCA DNA
Polyomavirus	Varsani <i>et al.</i> , 2015	Detección ADN/ARN	RCA DNA
Picornavirus	Yinda <i>et al.</i> , 2019	Detección ADN/ARN	NetoVIR
	De Souza <i>et al.</i> , 2019	Detección ADN/ARN	RT-PCR
		Aislamiento Viral	

Circovirus	Morandini <i>et al.</i> , 2019	Detección ADN	RCA DNA
	Levy <i>et al.</i> , 2020a	Detección ADN	RCA DNA
Cressdnavirus	Levy <i>et al.</i> , 2020b	Detección ADN	RCA DNA, PCR

Método detección	Nº publicaciones
Aislamiento	12
Serológico	15
Detección ADN	16

Anexo 6. Países financiadores de cada artículo encontrado (Elaboración Propia).

Autor	País financiador
Morgan y Westbury, 1981	Australia
Morgan y Westbury, 1988	Australia
Alexander <i>et al.</i>, 1989	Inglaterra
Austin y Webster, 1993	Nueva Zelanda
Thomazelli <i>et al.</i>, 2010	Brasil
Neira <i>et al.</i>, 2017	Chile
Grimaldi <i>et al.</i>, 2018	Nueva Zelanda
Olivares <i>et al.</i>, 2019	Chile
Wille <i>et al.</i>, 2019	Chile
Baumeister <i>et al.</i>, 2004	Argentina
Hurt <i>et al.</i>, 2014	Chile + Singapur
Hurt <i>et al.</i>, 2016	Chile + Singapur
Barriga <i>et al.</i>, 2016	Chile
Gardner <i>et al.</i>, 1997	Australia
Watts <i>et al.</i>, 2009	Australia
Lee <i>et al.</i>, 2014	Corea
Lee <i>et al.</i>, 2016	Corea
Varsani <i>et al.</i>, 2014	Estados Unidos
Van Doorslaer <i>et al.</i>, 2017	Estados Unidos
Varsani <i>et al.</i>, 2015	Estados Unidos

Yinda <i>et al.</i>, 2019	Estados Unidos
De Souza <i>et al.</i>, 2019	Brasil
Morandini <i>et al.</i>, 2019	Estados Unidos
Levy <i>et al.</i>, 2020a	Inglaterra
Levy <i>et al.</i>, 2020b	Inglaterra

