

LOS ORNITÓLOGOS NO SOMOS MEROS “OBSERVADORES” – ENFATIZANDO NUESTRO ROL ANTE LA PANDEMIA DEL SÍNDROME RESPIRATORIO POR CORONAVIRUS

Ornithologists are not mere “observers”: emphasizing our role in the face of the coronavirus respiratory syndrome pandemic

RICARDO A. FIGUEROA R.

Investigador independiente

Correspondencia: R. Figueroa, ra_figueroa_rojas@yahoo.com

ABSTRACT.- Here I identify five reasons why ornithologists have a lot to say and doing regard to CoViD-19. First, coronaviruses are not new to ornithologists. For decades, researchers have identified different coronaviruses in wild birds and poultry, allowing ornithologists to gain insight into the nature of these viruses. Second, quarantines are an opportunity to observe and value the birds in our neighborhoods. Some organizations are encouraging persons to watch birds from their windows and share experiences. Third, ornithologists help to minimize outbreaks of pathogenic viruses. Because outbreaks of zoonosis are related directly to the habitat loss, the habitats conservation is essential to safeguard human health. When ornithologists work to conserve these primitive habitats, they also contribute to human health. Fourth, ornithologists promote the health of people’s immune systems. When we encourage persons to watch birds in the field, we are also strengthening their immune health through exercise, oxygenation, vitamin D activation, stimulation of the senses, and amplification of positive emotions. Moreover, while outdoors we come into contact with nonpathogenic microbes that calibrate our immune system. Finally, ornithologists can educate citizens about emerging microbial diseases. I envision at least three strategies that ornithologists can implement or promote: (i) eco-epidemiological literacy; (ii) curricular strengthening; and (iii) professional training. We always must remember that our role as ornithologists in our society is more relevant and profound than we think.

Manuscrito recibido el 5 de junio de 2020, aceptado el 26 de junio de 2020.

“Mil millones de muertes hicieron al hombre acreedor a su inmunidad, al derecho a sobrevivir entre los infinitos organismos de este planeta...”

Fragmento del relato de Morgan Freeman en la película “La Guerra de Los Mundos”.

La actual pandemia del síndrome respiratorio causada por un tipo de beta-coronavirus que hace solo seis meses era desconocido para los humanos, quebró drásticamente nuestro ritmo de vida a nivel mundial. La enfermedad denominada CoViD-19 (del inglés “Coronavirus Disease 2019”) por la Organización Mundial de la Salud (OMS) es causada por un tipo de virus similar al SARS-CoV-1, causante del “síndrome respiratorio agudo severo” (SARS, por sus siglas en inglés). Por esta razón, los viró-

logos lo llamaron SARS-CoV-2 (Gorbalenya *et al.* 2020). A diferencia del virus SARS-CoV-1, el nuevo coronavirus es altamente infeccioso y, debido a la alta movilidad humana, se expandió rápidamente entre los diferentes continentes (Kraemer *et al.* 2020). Por la velocidad del contagio y gravedad inusual de la enfermedad, la mayoría de los países afectados debieron bloquear sus fronteras, establecer cuarentenas obligatorias, cerrar todos los centros educativos, restringir la circulación ciudadana, reducir la actividad laboral y priorizar la atención de los enfermos. En el ámbito académico, científico y tecnológico, las reuniones masivas fueron postergadas hasta fin de año o replanteadas como reuniones virtuales (Drake 2020). Además, muchos proyectos de investigación y tesis de postgrado debieron ser congelados.

Uno de los objetivos esenciales en la investigación para establecer la dinámica del SARS-CoV-2 es identificar al animal reservorio desde el cual el virus pasó a los humanos. Desde el inicio del brote del SARS-CoV-2 en China, los expertos propusieron varios candidatos incluyendo serpientes, murciélagos, pangolines, e incluso perros callejeros (Briones & Peretó 2020, Xia 2020). Los virólogos, basados en la estructura proteica del virus y en los análisis filogenéticos, concluyeron que los animales reservorios más probables eran alguna especie de murciélago aún no identificada y el pangolín malayo (*Manis javanica*) (Lam *et al.* 2020, Yi *et al.* 2020). No obstante, no está claro como saltó el virus a los humanos; si directamente desde los murciélagos (reservorio primario) o desde los murciélagos a los pangolines malayos (reservorio secundario) y luego a los humanos, o si el SARS-CoV-2 es una recombinación génica de virus transmitidos simultáneamente por murciélagos y pangolines a los humanos (Ye *et al.* 2020).

Si ninguno de los animales reservorios postulados para el virus incluye a las aves, entonces ¿Qué tenemos que decir los ornitólogos? ¿Cómo está relacionada nuestra actividad con la emergencia del nuevo virus? ¿Qué rol jugamos en medio de la crisis sanitaria y la depresión social? ¿Podemos seguir haciendo ornitología? Aunque nuestra actividad parezca poco o nada relacionada con la pandemia de CoViD-19, aquí identifico cinco razones por las cuales los ornitólogos sí tienen mucho que decir y hacer.

1.- Los coronavirus no son nuevos para los ornitólogos

Los coronavirus conforman una familia amplia de virus presentes en diversos grupos animales tales como los caprinos, camélidos, murciélagos, caninos, felinos y las aves (Cavanagh 2005, CDC 2020). Casi todas las especies de animales analizadas han resultado estar infectadas por coronavirus (Cavanagh 2001, Evermann & Benfield 2008). En los últimos años los virólogos se han concentrado en identificar a los virus presentes en los murciélagos asiáticos debido a que ellos contienen coronavirus altamente infecciosos y mortales como el SARS-CoV-1 (*e.g.*, Kwon 2017). A partir del brote del SARS en humanos el año 2002, surgió también un fuerte interés por identificar a los coronavirus de otras especies (Cavanagh 2005). Actualmente, varios investigadores están estudiando la presencia y prevalencia de distintos grupos de virus, incluidos los coronavirus, en las aves silvestres y domésticas (González-Acuña 2020, ver Editorial en esta edición). Específicamente en Chile, 21 tipos de virus han sido identificados entre 25 especies de aves silvestres (González-Acuña & Sebastián Llanos-Soto, *en prep.*). La única especie que resultó positiva a coronavirus (gamma-

coronavirus) fue el yeco (*Phalacrocorax brasilianus*; Verdugo *et al.* 2018). Los resultados de un estudio reciente indican que algunas especies de pingüinos antárticos podrían ser reservorios de delta-coronavirus (Wille *et al.* 2020).

Algunas especies de virus aviares son altamente patogénicos (*e.g.*, virus de la influenza aviar H5N1, virus de la enfermedad de Newcastle; CDC 2020), pero la mayor parte de los virus que hospedan las aves no les causa enfermedad (Hughes *et al.* 2009). Varias especies de aves silvestres hospedan coronavirus genéticamente similares al que causa la bronquitis infecciosa aviar en gallinas domésticas, pero no hay evidencia que resulten enfermas (Hughes *et al.* 2009, Chu *et al.* 2011, Barbosa *et al.* 2018). Algo que llama la atención de las especies de aves reservorios de coronavirus y del virus de la influenza aviar es que la mayor parte de ellas son acuáticas y migratorias (Hughes *et al.* 2009, Chu *et al.* 2011, Jordan *et al.* 2015, Verdugo *et al.* 2018). Por esa razón, algunos investigadores sospechan que estas aves podrían actuar como reservorios locales o vectores de larga distancia de las enfermedades que afectan a las aves de corral (Hughes *et al.* 2009).

El hecho que las aves acuáticas y migratorias sean reservorios de coronavirus con potencial patogénico tiene implicancias para la conservación de especies locales y manejo de sus hábitats (ver más adelante). Así, la detección y caracterización de los coronavirus aviares tiene amplias implicancias en el estudio y conservación de las aves silvestres.

2.- Las cuarentenas son una oportunidad para estimular la observación y valoración de nuestras aves vecinas

En varios países, el confinamiento de los ciudadanos en sus hogares les ha permitido convertirse en avistadores u observadores de aves y de esa manera atenuar sus estrés y ansiedad debido al encierro. En Turquía y España, los ciudadanos pudieron observar el movimiento migratorio de aves desde sus propias casas (Bir 2020). En India, los habitantes de Mumbai pudieron observar decenas de miles de flamencos que ocuparon un manglar cercano a la ciudad (Carlisle 2020). Esa cantidad de flamencos superó considerablemente la cantidad observadas en los años anteriores. Aparentemente, las restricciones de la actividad humana en el área permitió la congregación de un número mucho mayor de esas aves.

En España, el ornitólogo Javier Rico creó la iniciativa de twitter #AvesDesdeCasa mediante la cual estimula a las personas a observar a las aves desde sus ventanas y compartir sus experiencias (González 2020). Tal iniciativa ha permitido que las personas aprendan a identi-

ficar a las especies de aves que habitan en su barrio y se sorprendan con la cantidad de especies que no conocían, siendo una distracción fascinante para los niños encerrados durante las cuarentenas. Algunos educadores y padres han complementado las actividades de observación con la construcción de comederos y bebederos para pájaros usando material reciclado, siluetas de aves para recortar y colorear, entre otras actividades (González 2020). La iniciativa #QuédateEnElNido de SEO/Birdlife también está invitando a los ciudadanos del mundo a observar aves desde sus casas y compartir sus registros en e-Bird. Además, esta organización dispuso contenidos divulgativos y pedagógicos gratuitos para apoyar la observación de aves. En Estados Unidos, varias personas han declarado que están entusiasmadas con la observación y la nidificación de aves en el patio o cercanías de sus casas (Bradley 2020). La organización Aves Argentinas ha dispuesto varios cursos y charlas virtuales para que los amantes de las aves permanezcan motivados durante los periodos de cuarentena.

No es sorprendente que las personas en general se sientan atraídas hacia a las aves silvestres, ya que en comparación con otros tipos de animales menos conspicuos, muchas especies son relativamente fácil de ver, atractivas visualmente y amigables. Además, todos podemos manifestar tarde o temprano nuestro impulso ecológico y admiración por ellas. Desconozco si existe alguna iniciativa en Chile que estimule la observación de aves por parte de las personas en cuarentena, pero estoy seguro que muchos de nosotros estamos haciendo, o podemos hacer, algo al respecto.

3.- Los ornitólogos podemos contribuir a minimizar los brotes de los virus patogénicos.

De manera individual o colectiva, los ornitólogos hemos invertido un tremendo esfuerzo en la conservación de los hábitats y los ecosistemas naturales, hemos participado en la identificación de áreas de importancia avifaunística y en la creación de áreas protegidas, hemos defendido la conservación de los bosques nativos y su alto endemismo, y estamos trabajando en distintas iniciativas de restauración de hábitats. Aparte de contribuir directamente a la conservación de nuestra biota, tales esfuerzos también están contribuyendo a la salud global de la ciudadanía. Esto no sólo por el efecto terapéutico que tiene la naturaleza sobre nosotros, sino también porque minimiza la emergencia de microorganismos patogénicos para los humanos.

Varios ecólogos y epidemiólogos han demostrado teórica y empíricamente que la degradación y fragmentación de los hábitats primitivos es uno de los principales gatillantes de enfermedades microbianas emergentes tales como la malaria, el ébola y el SARS (Wolfe 2000,

Mills 2006, Aguirre & Tabor 2008, Sehgal 2010, Vidal 2020). La apertura y degradación de los hábitats primitivos conlleva una simplificación composicional (*i.e.*, pérdida de especies), estructural (*i.e.*, pérdida de la cobertura vegetal) y funcional (*i.e.*, simplificación de las redes tróficas) que favorece el aumento de animales reservorios de microbios patogénicos (Patz *et al.* 2000, Wolfe 2000, Mills 2006, Vidal 2020). En este proceso, varios aspectos de la historia natural de los animales reservorios y mecanismos ecológicos operan sinérgicamente (Schmidt & Ostfeld 2001, Mills 2006). Los animales reservorios primarios de microbios patogénicos tienden a ser oportunistas tróficos y se adaptan fácilmente a los cambios de hábitats. Los cambios fenológicos causados por la simplificación del hábitat aumentan la disponibilidad de alimento para ellos y, de ahí, sus tasas reproductivas y su tamaño poblacional. Por otra parte, la pérdida de hábitat conlleva la pérdida de especies competidoras y de los depredadores de esos animales reservorios. Así, la comunidad de especies animales termina siendo dominada por la especie reservorio primario que, mediante el principio de acción de masa, aumenta su tasa de contactos, asegura la mantención de los microorganismos patogénicos dentro de la población y aumenta el riesgo de contagio para los humanos (Mills 2006).

La relación entre la pérdida de diversidad biológica y la ocurrencia de enfermedades zoonóticas emergentes (EZE) está plasmada en la “hipótesis del efecto de dilución” (Ostfeld & Keesing 2000, Schmidt & Ostfeld 2001, Laporta *et al.* 2013). En términos simples, esa hipótesis predice que el aumento de la diversidad de organismos reservorios menos competentes (*e.g.*, con menor capacidad de transmisión) resultará en una menor prevalencia de infección del organismo más competente (*e.g.*, con mayor capacidad de transmisión) y en menor riesgo para los humanos (Schmidt & Ostfeld 2001, Mills 2006, Suzan *et al.* 2006, 2012). Así, una mayor riqueza de especies reservorios menos competentes diluirá la prevalencia del agente infeccioso dentro de la comunidad y actuará como un “sistema de amortiguación” preventivo para los humanos. Las predicciones de la “hipótesis del efecto de dilución” se cumplen en varios taxones que transmiten EZE (Mills 2006, Pongsiri *et al.* 2009, Laporta *et al.* 2013, Civitello *et al.* 2015, Ruytz *et al.* 2016)

Swaddle & Calos (2008) demostraron el “efecto de dilución” para la fiebre del Nilo Oriental, una enfermedad viral cuyos vectores son los mosquitos del género *Culex* y las aves silvestres infectadas actúan como reservorios. Los mosquitos infectados transmiten la enfermedad a los humanos. Los autores encontraron que la incidencia de infección del virus del Nilo Oriental en humanos fue mucho menor en las áreas con una alta diversidad de aves,

añadiendo más evidencia del “efecto de dilución”. En el caso de la influenza aviar, cuyos reservorios son aves acuáticas migratorias, las predicciones de la hipótesis de dilución aún no han sido probadas. No obstante, es intuitivo pensar que la degradación y simplificación de humedales extensos puede contribuir a una alta prevalencia del virus entre las pocas especies de aves que dominen la comunidad. Por otra parte, la pérdida en la cantidad de humedales debido a las demandas agrícolas o la expansión urbana puede conducir a que la población de aves reservorios se concentre en los pocos humedales disponibles y contagie a otras especies de aves susceptibles (Seghal 2010, Fuller *et al.* 2012). De hecho, la prevalencia de la influenza aviar incrementa con la densidad de aves en estado reproductivo (Li *et al.* 2010). Por esta razón, también es crucial identificar los sitios de concentración de virus aviares (Fuller *et al.* 2010)

En conclusión, los ornitólogos tenemos un rol fundamental en la prevención de las EZE transmitidas por aves y otros animales silvestres. Cuando defendemos la integridad ecológica de cualquier ecosistema primitivo también estamos defendiendo la salud orgánica de toda la ciudadanía. También contribuimos con información relevante para comprender la dinámica de enfermedades aviares emergentes. La información sobre las rutas migratorias, paraderos e itinerarios migratorios, áreas de invernadas, sitios de alimentación y nidificación, tasas reproductivas, e incluso las etapas de muda son fundamentales para comprender mejor la dispersión de microbios patogénicos por las aves y entre las aves. Esto último reafirma que el conocimiento de la historia natural y la ecología básica de las aves es más relevante que nunca.

4.- Los ornitólogos podemos promover la salud inmune de las personas.

Los ornitólogos tenemos la posibilidad de convocar o motivar a muchas personas a observar o estudiar a las aves silvestres. En muchas partes del mundo la observación de aves es una actividad masiva, y cada vez más personas son atraídas por esta actividad. Aparte de disfrutar de la belleza estética y escénica de las aves silvestres, cuando vamos a “pajarear” caminamos a menudo varios kilómetros, respiramos aire de buena calidad, recibimos los rayos del sol, percibimos ruidos y olores agradables, y amplificamos nuestras emociones positivas. Todo eso contribuye a nuestra salud general y, en particular, a estimular y fortalecer nuestro sistema inmune.

El ejercicio físico moderado aumenta nuestro flujo sanguíneo, lo cual moviliza a los glóbulos blancos y permite que estas células inmunitarias hagan su trabajo de vigilancia buscando y destruyendo a los microbios infectantes (Fitzgerald 1988, Nieman & Pedersen 1999). El

ejercicio moderado también reduce nuestra tensión orgánica y psicológica causada por el ritmo acelerado de la vida moderna, impidiendo que nuestro sistema inmune decaiga (Brown 1991, Salmon 2001). Cuando estamos en el campo, también respiramos aire de mejor calidad comparado con el de los ambientes urbanos. Está demostrado que la contaminación del aire en las ciudades deprime nuestro sistema inmune, y que una mayor oxigenación lo mantiene activo (Hollingsworth *et al.* 2007, D’Amato *et al.* 2010). La exposición al sol es fundamental para que se active la vitamina D, una vitamina que regula el metabolismo del calcio y contribuye a fortalecer nuestros huesos. Además, la vitamina D participa en la activación de los linfocitos T, encargados de destruir a los virus y bacterias que entran a nuestro organismo (Adams & Hewison 2008, Rode von Essen 2010). De hecho, la carencia de vitamina D parece estar asociada a una mayor severidad de la CoViD-19 (Grant *et al.* 2020). Cuando estamos en el campo observando a las aves y percibiendo los aromas de la vegetación sentimos una conexión placentera con la naturaleza. Este estado emocional positivo estimula la función de nuestro sistema inmune mediante mecanismos biológicos complejos y, al mismo tiempo, amortigua nuestras reacciones fisiológicas y conductuales generadas por el efecto del estrés (Pressman & Black 2012).

Pienso que una gran parte de los ornitólogos tenemos conocimiento de lo anterior. Pero posiblemente muchos ornitólogos no están conscientes que cuando vamos al campo a disfrutar la vida silvestre nos sumergimos en una red compleja y vasta de trillones de virus que envuelve nuestro planeta: la virósfera (Holmes 2016, ICTV 2020, Zimmer 2020). La virósfera está integrada por todos los virus presentes en el suelo, suspendidos en el aire, sumergidos en el mar, por los que caen desde el cielo cada día y por los que se hospedan en todos los seres vivos, incluyéndonos (Travis 2003, Weitz & Wilhelm 2013, Racaniello 2018, Reche *et al.* 2018, Robbins 2018). La mayor parte de esos virus son beneficiosos, estando involucrados en procesos fisiológicos, ecológicos y biogeoquímicos, y algunos son útiles en el tratamiento de enfermedades (*e.g.*, Travis 2003, Méndez *et al.* 2015, Zimmer 2015).

Muchos virus que conforman la virósfera estimulan de alguna manera nuestro sistema inmune. Recordemos que nuestra inmunidad está basada en el “aprendizaje” o “memoria” de nuestras células inmunitarias en la medida que “agentes desconocidos” entran a nuestro organismo. Sin darnos cuenta, cuando estamos en el campo adquirimos virus no patogénicos y algunos levemente patogénicos tales como los virus que causan resfriados (*e.g.*, rinovirus y varios tipos de coronavirus; Paules *et al.* 2020) que calibran nuestras defensas internas. Si nuestro sistema inmune es estimulado continuamente por estos virus,

nuestro organismo estará más apto para enfrentar a los microbios patogénicos (Racaniello 2015, Mathew 2019).

Los virus, bacterias y otros microbios no patogénicos propios de los entornos naturales constituyen en combinación “aerosoles inmunizantes”. Por esta razón, aquellos niños que viven en áreas rurales y tienen mayor contacto directo con el suelo, plantas y animales desarrollarán mejor inmunidad que los niños que viven en áreas urbanas limpias y depauperadas de naturaleza, incluyendo a los microbios (“hipótesis de la higiene”, Strachan 1980, 2000). Desde nuestra aparición en el planeta Tierra hemos convivido y co-evolucionado con una infinidad de microbios con los cuales hemos establecido una relación simbiótica y nos han ayudado a programar nuestro sistema inmune (“hipótesis de los viejos amigos”, Rook *et al.* 2004). Algunos de estos “viejos amigos” incluyen virus y bacterias presentes en plantas (*e.g.*, tobamovirus, marafivirus, proteobacterias), alimentos vegetales y bebidas fermentadas (*Lactobacillus*), suelo (*e.g.*, *Bacteroidetes*, *Firmicutes*, *Mycobacterium*), lodo y agua corriente natural (virus bacteriófagos, *Mycobacter*) y animales (*Acinetobacterias*) (Rook *et al.* 2004, Hanski *et al.* 2012, Scarpellini *et al.* 2015, Zhou *et al.* 2016). Varios de nuestros “viejos amigos” constituyen ahora la microbiota de nuestra piel, tracto respiratorio y tracto digestivo, contribuyendo a defendernos de los microbios “enemigos” (Lozupone *et al.* 2012, Scarpellini *et al.* 2015, Ask 2020). Cuando nuestros “viejos amigos” se van debido a la alteración y pérdida de los entornos naturales, perdemos la posibilidad de recomponer nuestro microbioma (comunidad microbiana que vive en nuestro organismo; DeSalle & Perkins 2016) y ganar inmunidad natural (“hipótesis de la biodiversidad microbiana”; von Hertzen *et al.* 2011).

En los últimos años varios investigadores han corroborado la relación positiva entre la exposición de los humanos a los entornos naturales, la composición de la microbiota intestinal y la salud inmune. Zhou *et al.* (2016) encontraron que los roedores expuestos a suelo, polvo doméstico y materia vegetal en descomposición tuvieron una microbiota intestinal más diversa y una inmunidad innata mejorada. Dhakal *et al.* (2019) detectaron que los infantes expuestos diariamente a animales de granja (*e.g.*, vacas, ovejas, cabras, caballos y gallinas) tienen una microbiota intestinal con una mayor cantidad de bacterias que modulan la actividad de células inmunitarias comparada con la de los infantes no expuestos o con escasa exposición a animales de granja. Los animales de granja, libres y sanos, también hospedan una variedad de virus, incluyendo coronavirus (*e.g.*, Cavanagh 2005), que no son patógenos para nosotros (Simmons 2020), sino que estimulan nuestro sistema inmune. Así, cuando los niños tocan aves sanas en centros de rehabilitación y zoológi-

cos, cuando nuestros hijos abrazan a las aves de corral criadas libremente en el patio de la casa o en las granjas ecológicas, o incluso cuando acarician a sus mascotas sanas, están recibiendo posiblemente pequeñas “dosis de microbios inmunizantes”.

Dos cosas deben quedar claras. Primero, una mayor exposición a los microbios ambientales no significa que algún virus patogénico agresivo no nos enferme. La ventaja, tal vez, es que podríamos estar mejor armados para resistir la enfermedad, siempre y cuando mantengamos hábitos de vida saludable. Segundo, el lavado de manos no es negociable. Después que los niños jueguen con tierra y abracen a sus gallinas, patos, perros, gatos y hámsteres, debemos exigirle el lavado de manos. Siempre existe un riesgo que ellos adquieran algún microbio “no tan amigo o beneficioso”.

5.- Los ornitólogos tenemos el deber de educar a la ciudadanía sobre las enfermedades zoonóticas.

Los ornitólogos tenemos experiencia en educar a la ciudadanía; lo hacemos todo el tiempo. Muchos hemos desarrollado proyectos educativos con distintos aliados y hemos elaborado material escrito y audiovisual abundante sobre la historia natural y ecología de nuestras aves, su rol en los ecosistemas, la necesidad de conservar sus hábitats y su valor sociocultural. Varios de nosotros también ganamos alguna experiencia educativa a partir del brote endémico de Síndrome Cardio-pulmonar por Hantavirus ocurrido hace dos décadas en el sur de nuestro país y el último brote de influenza aviar. Esas experiencias nos han dejado mejor preparados para educar a la ciudadanía sobre la ecología de las EZE en tiempos de pandemia.

En general, la educación sobre el síndrome respiratorio por coronavirus en los medios de comunicación ha estado basada en medidas profilácticas y los síntomas de la enfermedad. Muy poco o nada hemos escuchado sobre la historia natural de los animales reservorios y la dinámica ecológica de las EZE. Esto es comprensible dada la severidad de la enfermedad y la alta tasa de mortalidad. No obstante, educar a la ciudadanía sobre la ecología de las EZE es fundamental para que nuestra sociedad esté preparada ante la irrupción de nuevas epidemias o pandemias.

Brewer *et al.* (2008) destacan que una de las razones por las cuales es imperativo educar a todos los ciudadanos acerca de la ecología de las EZE es que la salud de las personas y la salud de otros seres vivos de los cuales dependemos están vinculados fuertemente a los ecosistemas en los cuales vivimos, y que la salud de estos ecosistemas son afectados por las enfermedades emergentes. Como ya sabemos, una de las consecuencias de la destrucción y fragmentación de los hábitats primitivos es la emergencia

o reemergencia de microbios patogénicos debido a cambios de conducta y abundancia del animal reservorio; a la vez, eso puede llevar a un manejo inapropiado del habitat del animal reservorio.

En el contexto de un brote, epidemia o pandemia zoonótica, es necesario que implementemos varias estrategias educativas complementarias que pueden tener distintos grados de dificultad. Aquí visualizo al menos tres estrategias que los ornitólogos podemos implementar o promover: (i) alfabetización eco-epidemiológica, (ii) fortalecimiento curricular, y (iii) entrenamiento profesional. La primera estrategia es básica y simple, pero permite una educación masiva mediante el uso de los diversos medios de comunicación (Berkowitz *et al.* 2005, Slingsby & Barker 2005). La alfabetización en el contexto de la actual pandemia debe incluir aspectos básicos de los virus. Las personas necesitan saber que vivimos en un mundo rodeado de virus. Por lo tanto, ellas necesitan saber cómo los virus se replican, evolucionan y mutan, cuáles son sus hábitats o reservorios, qué caracteriza a los virus patogénicos, cómo entramos en contacto con ellos y cómo causan enfermedades. Las personas también deben saber que la inmensa mayoría de los microbios cumplen funciones ecológicas esenciales y que solo unos pocos nos enferman. También debemos enseñar que mantenemos relaciones simbióticas con muchos virus y bacterias, y que algunos de ellos son usados incluso en el tratamiento de ciertas enfermedades (*e.g.*, terapia con virus bacteriófagos para el cáncer).

Un ejemplo excelente de alfabetización sobre los virus es el que hizo la microbióloga Cristina Dorador en un periódico de circulación nacional (Las Últimas Noticias, viernes 12 de junio de 2020). En ese artículo, la Dra. Dorador destaca que la vida en nuestro planeta no sería como la conocemos si no existieran los virus, mencionando que son fundamentales para el ciclo del carbono y que contribuyen a incrementar la diversidad genética de las especies. También enfatizó que debemos evitar las metáforas de guerra en contra de los virus, ya que sólo unos pocos son mortales para los humanos. La Dra. Dorador también acuñó el término “amor microbiano” para referirse al hecho que las personas que pasan mucho tiempo juntos llegan a compartir ciertos microorganismos y que al separarse ese nexo se diluye hasta el “olvido”.

Para los ornitólogos naturalistas o ecólogos puede ser más cómodo efectuar una alfabetización poniendo a los microbios en el ámbito de la diversidad biológica y la función ecosistémica. En el caso de los virus en particular, podemos introducir el concepto de “virósfera” y “viroma” (*i.e.*, conjunto de virus presentes en la microbiota intestinal; Lecuit & Eloit 2013). Para los ornitólogos veterinarios puede ser más familiar enfocar la alfabetización

basándose en la visión de “Una Salud” o “One Health”, la cual destaca las conexiones entre la salud humana, salud animal y sus ambientes compartidos (Kahn *et al.* 2008). Debo enfatizar que la alfabetización eco-epidemiológica implica simplificar el lenguaje científico, dejando de lado los tecnicismos excesivos de algunas disciplinas (Brewer *et al.* 2008). También debemos ser cuidadosos con el uso de los antropomorfismos cuando la alfabetización esté dirigida un público lego. Comentarios tales como “qué pasa si el virus se hace buena persona” distorsiona la naturaleza de los virus y transmite ignorancia.

La segunda estrategia implica promover la incorporación del tópico de ecología de zoonosis emergentes en el curriculum escolar. Supongo que las autoridades educativas deberían estar llanos a esto ante la crisis pandémica. Al menos este año, el Ministerio de Educación impuso una unidad transversal sobre la CoViD-19 para toda la educación escolar pública cuya duración será de un mes. Algunos epidemiólogos afirman que la actual pandemia no será la última, por lo tanto la ecología de las enfermedades microbianas emergentes debe ser un contenido obligatorio en el curriculum escolar de aquí en adelante. La educación sobre las EZE a nivel escolar no sólo permitirá que los estudiantes que elijan carreras del área biológica estén mejor preparados, sino también permitirá que los ciudadanos del futuro entiendan mejor la naturaleza e impacto de las zoonosis emergentes, y sean más comprensivos respecto de las medidas de cuarentena, distanciamiento social y autocuidado. Las agrupaciones científicas, incluyendo la Unión de Ornitólogos de Chile, deberían sugerir conjuntamente a las autoridades educativas el enriquecimiento del curriculum escolar en términos de las EZE.

Desde adentro de las escuelas, los profesores ornitólogos podemos incorporar y enriquecer los contenidos relacionados con las EZE y el sistema inmune (*e.g.*, mini-proyectos, talleres, charlas de especialistas; ver Fass 2000) y estimular a otros colegas a que lo hagan. Dado que la pandemia de CoViD-19 motivó numerosas noticias falsas e ideas conspirativas sobre el origen de la enfermedad, es fundamental que la educación escolar sobre las EZE esté basada en el análisis de la evidencia y el pensamiento crítico. Cabe también señalar que la educación escolar tiene el propósito de ofrecer un mejor futuro para los niños y jóvenes. Entonces ese futuro tiene que ser visto con optimismo y esperanza. Por lo tanto, es importante que en este año pandémico nuestra definición de futuro sea alentadora y no apocalíptica (Johnston *et al.* 2005). Un recurso pedagógico que puede contribuir a eso es el cuento clásico “Mac El Microbio Desconocido” (del Solar 1946). Este cuento, con varios elementos ornitológicos, es útil para introducir algunos conceptos sobre

la ecología de las EZE a los niños de enseñanza básica. Gracias a la existencia de una vacuna, el cuento tiene un final feliz.

La capacitación especializada de profesionales del área biológica es esencial para asegurar que ellos puedan educar de manera efectiva a la ciudadanía sobre la ecología de las EZE (Brewer *et al.* 2008, Schwartz & Chin-Hong 2017). En el caso de los profesores de ciencias activos, en práctica y en formación, es necesario proporcionarles oportunidades de desarrollo o perfeccionamiento profesional enfocados hacia la amplia comprensión de la ecología de las EZE. Esos cursos deben enfatizar que los brotes zoonóticos resultan de la alteración excesiva de los ecosistemas primitivos y que, por lo tanto, existe un vínculo entramado entre la salud humana y la salud del ecosistémica. La Unión de Ornítólogos de Chile cuenta con miembros profesionales calificados para realizar cursos sobre la ecología y epidemiología de las EZE.

En el caso de los profesionales sin formación pedagógica es necesario entrenarlos en estrategias pedagógicas asegurando que comprendan bien el proceso de enseñanza-aprendizaje; *e.g.*, las personas pueden diferir en la velocidad del aprendizaje o pueden tener distintos historiales educativos (Loughran 2013). Muchos profesionales no pedagogos tienen habilidades innatas para educar, pero una comprensión del marco conceptual y teórico detrás de la pedagogía hará su labor educativa mucho más efectiva. Los cursos sobre las EZE también deben fomentar el pensamiento crítico, científico y transdisciplinario, la capacidad de lidiar con la complejidad, el trabajo en equipo (Brewer *et al.* 2008), la virtud de la transparencia y la aceptación de la incertidumbre (Maturana & Varela 1994). Esos hábitos mentales son esenciales para manejar y contener la crisis sanitaria en un estado de pandemia.

REFLEXIONES

Los geólogos dieron el nombre de “Antropoceno” al tiempo que llevan los humanos en el planeta Tierra (Crutzen & Stoermer 2000). Esto no es por hacer un homenaje a la humanidad, sino por los cambios dramático que los humanos causamos a los sistemas naturales terrestres (*e.g.*, extinciones bióticas masivas, producción de gases invernadero, pérdida de la capa de ozono, derretimientos de los hielos polares; cambios en los flujos biogeoquímicos). Ahora, el síndrome respiratorio por coronavirus nos vino a dar un “golpe de gracia” en medio de una crisis ambiental, climática, ecológica y social de carácter global. Al menos por un tiempo, el SARS-CoV-2 nos ha despojado de nuestro sentimiento de poder sobre la naturaleza y ha frenado nuestra obsesión productivista y exitista.

Está claro que nuestro mejorado (?) estatus de vida está costando la salud de nuestro planeta, y de vuelta, puede significar la irrupción más frecuente de virus patogénicos con consecuencia impredecibles (Goudarzi 2016, Vidal 2020). Nuestra civilización actual no puede o no quiere ver eso porque también sufrimos de otro virus de carácter pandémico, el “virus de la soberbia”.

La crisis pandémica actual nos debe hacer reflexionar acerca de nuestra posición en el planeta Tierra y reconocer las fuertes interconexiones entre la salud humana, salud microbiana, salud animal, salud vegetal, salud ecosistémica y salud planetaria (Vidal 2020). El actual ritmo de vida, movilidad humana, incremento poblacional y la globalización económica han acentuado esas interconexiones. De esta manera, los agentes patogénicos pueden expandirse más rápido y más ampliamente por el mundo. Si continuamos destruyendo los ecosistemas primitivos, alterando las redes tróficas y contaminando los sistemas acuáticos, aumentamos la probabilidad que algún agente patogénico aparezca en escena y, a la vez, disminuimos la posibilidad de tener contactos saludables con los entornos naturales. Menos contacto con la naturaleza nos hace menos saludable y menos inmune (aunque no lo notes).

El aumento en la cantidad de EZE nuevas en las últimas décadas indica que los ecosistemas naturales están perdiendo la capacidad de autorregularse. De cierta manera, eso apoya las predicciones de la hipótesis de GAIA, la cual afirma que el planeta Tierra en su totalidad, incluyendo los seres vivos, océanos, rocas y atmósfera, funciona como un super-organismo que modifica activamente su composición interna para asegurar su supervivencia (Lovelock & Margulis 1974, Hemida & Abdullah 2020). Indiscutiblemente, la pérdida de balance ecosistémico es una de las consecuencias del impacto humano sobre los sistemas terrestres. Los científicos ven cada vez más a nuestro planeta como un sistema homeostático. De cierta manera, los principios de la aproximación GAIA están implícitos en las propuestas de “Una Salud” (Atlas & Malloy 2014), “Salud Planetaria” (Horton & Lo 2015, Myers 2017) y “EcoSalud” (Charron 2012). Los ornítólogos ya no podemos ignorar o eludir los conceptos de interdependencia, balance, autorregulación y salud del sistema terrestre cuando eduquemos y alfabeticemos sobre la ecología y conservación de las aves silvestres.

Esta catástrofe sanitaria pasará, y estoy seguro que todos los ornítólogos retomaremos nuestras actividades con mucha más energía, y seguiremos siendo capaces de transmitir optimismo y esperanza a la ciudadanía. Siempre consideremos que nuestro rol como ornítólogos en nuestra sociedad es más relevante y profundo de lo que pensamos, y que no somos meros “observadores de aves”.

AGRADECIMIENTOS.- Agradezco a Daniel González-Acuña, a Soraya Corales Stappung y a un revisor anónimo por sus útiles comentarios y correcciones al primer borrador de este trabajo.

LITERATURA CITADA

- AGUIRRE, A.A. & G.M. TABOR. 2008. Global factors driving emerging infectious diseases - impact on wildlife populations. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1149: 1-3.
- AKST, J. 2020. The influence of soil on immune health. *The Scientist*. <https://www.the-scientist.com/news-opinion/the-influence-of-soil-on-human-health-66885>
- ATLAS, R.M. & S. Maloy (eds.). 2014. *One Health: people, animals, and the environment*. American Society for Microbiology Press, Washington D.C. 330 pp.
- BARBOSA, C.M., E.L. DURIGON, L.M. THOMAZELLI, T. OMETTO, R. MARCATTI, M.S. NARDI, D.M. DE AGUIAR, J.B. PINHO, M.V. PETRY, I.S. NETO, P. SERAFINI, R.C. RODRIGUES, S. MENDES DE AZEVEDO JR, L.G.B. GÓES & J. DE ARAUJO. 2019. Divergent coronaviruses detected in wild birds in Brazil, including a central park in São Paulo. *Brazilian Journal of Microbiology* 50: 547-556.
- BIR, B. 2020. Ciudadanos turcos podrán observar aves migratorias desde los balcones durante confinamiento por coronavirus. <https://www.aa.com.tr/es/turquía/ciudadanos-turcos-podrán-observar-aves-migratorias-desde-los-balcones-durante-confinamiento-por-coronavirus/1817921#>
- BRADLEY, L. 2020. Estamos tan entusiasmados que todos nos hemos convertido en observadores de aves. <https://www.thedailybeast.com/coronavirus-quarantine-fuels-bird-watching?ref=scroll>. Acceso: 28 de abril de 2020.
- BREWER, C.A., A.R. BERKOWITZ, P.A. CONRAD, J. PORTER & M. WATERMAN. 2008. Educating about infectious disease ecology. Pp. 448-466, in Ostfeld, R.S., F. Keesing & V.T. Eviner (eds.) *Infectious disease ecology – effects of ecosystems on disease and of disease on ecosystems*. Princeton University Press, Princeton, EE.UU.
- BRIONES, C. & J. PERETÓ. 2020. El origen del coronavirus SARS-CoV-2, a la luz de la evolución. *The Conversation*. <https://theconversation.com/el-origen-del-coronavirus-sars-cov-2-a-la-luz-de-la-evolucion-136897>
- BROWN, J.D. 1991. Staying fit and staying well: physical fitness as a moderator of life stress. *Journal of Personality and Social Psychology* 60: 555-561.
- CARLISLE, M. 2020. Over 100,000 flamingos reportedly descend on Mumbai amid India's strict coronavirus lockdown. *Time*. <https://time.com/5831198/flamingos-coronavirus/>. Acceso: 5 de mayo de 2020.
- CAVANAGH, D. 2001. A nomenclature for avian coronavirus isolates and the question of species status. *Avian Pathology* 30: 109-115.
- CAVANAGH, D. 2005. Coronaviruses in poultry and other birds. *Avian Pathology* 34: 439-448.
- CDC [Center for Diseases Control and Prevention]. 2020. Coronavirus (COVID-19). <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/index.html>. Acceso: 10 de marzo de 2020.
- CHARRON, D.F. (ed.). 2012. *Ecohealth research in practice innovative applications of an ecosystem approach to health*. Springer, Nueva York, EE.UU. 282 pp.
- CHU, D.K.W., C.Y.H. LEUNG, M. GILBERT, P.H. JOYNER, E.M. NG, T.M. TSE, Y. GUAN, J.S.M. PEIRIS & L.L.M. POON. 2011. Avian coronavirus in wild aquatic birds. *Journal of Virology* 85: 12815-12820.
- CIVITELLO, D.J., J. COHEN, H. FATIMA, N.T. HALSTEAD, J. LIRIANO, T.A. MCMAHON, C.N. ORTEGA, E.L. SAUER, T. SEHGAL, S. YOUNG & J.R. ROHR. 2015. Biodiversity inhibits parasites: broad evidence for the dilution effect. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 112: 8667-8671.
- CRUTZEN, P.J. & E.F. STOERMER 2000. The "Anthropocene". *IGB Newsletter* 41: 17-18.
- D'AMATO, G., L. CECCHI, M. D'AMATO & G. LICCARDI. 2010. Urban air pollution and climate change as environmental risk factors of respiratory allergy: an update. *Journal of Investigational Allergology and Clinical Immunology* 20: 95-102.
- DEL SOLAR, H. 1946. *Mac El Microbio Desconocido*. Editorial Rapa Nui S.A., Santiago, Chile. 75 pp.
- DESALLE, R. & S.L. PERKINS. 2016. *Welcome to the microbiome: getting to know the trillions of bacteria and other microbes in, on, and around you*. Yale University Press, Londres, EE.UU. 264 pp.
- DHAKAL, S., L. WANG, L. ANTONY, J. RANK, P. BERNARDO, S. GHIMIRE, K. BONDRA, C. SIEMS, Y.S. LAKSHMANAPPA, S. RENU, B. HOGSHEAD, S. KRAKOWKA, M. KAUFFMAN, J. SCARIA, J.T. LEJEUNE, Z. YU & G.J. RENUKARADHYA. 2019. Amish (rural) vs. non-Amish (urban) infant fecal microbiotas are highly diverse and their transplantation lead to differences in mucosal immune maturation in a humanized germfree piglet model. *Frontiers in Immunology* 10: Article 1509. doi: 10.3389/fimmu.2019.01509
- DRAKE, N. 2020. Cómo el coronavirus está obstaculizando la ciencia. <https://www.scientificamerican.com/article/how-the-coronavirus-is-hampering-science>. Acceso: 15 de marzo de 2020.
- EVERMANN, J.E. & D.A. BENFIELD. 2008. Coronaviral Infections. Pp. 246-253, in Williams, E.S. & I.K. Barker (eds.) *Infectious diseases of wild mammals*. Third edition. Iowa State University Press, Ames, EE.UU.
- FASS, M.F. 2000. Teaching emerging disease: a strategy for succeeding with nonmajors. *Microbiology Education* 1: 20-25.
- FITZGERALD, L. 1988. Exercise and the immune system. *Immunology Today* 9: 337-339.
- FULLER, T., S. BENSCH, I. MÜLLER, J. NOVEMBRE, J. PÉREZ-TRIS, R.E. RICKLEFS, T.B. SMITH & J. WALDENSTRÖM. 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: 80-88.
- FULLER, T.L., S.S. SAATCHI, E.E. CURD, E. TOFFELMIER, H.A. THOMASSEN, W. BUERMANN, D.F. DESANTE, M.P. NOTT, J.F. SARACCO, C.J. RALPH, J.D. ALEXANDER, J.P. POLLINGER & T.B. SMITH. 2010. Mapping the risk of avian influenza in wild birds in the US. *BMC Infectious Diseases* 10. doi.org/10.1187doi:10.1186/1471-2334-10-187
- GONZÁLEZ, V. 2020. #AvesDesdeCasa: ciencia ciudadana en el confinamiento. <https://www.muyinteresante.es/naturaleza/articulo/avesdesdecasa-ciencia-ciudadana-en-el-confinamiento-251586248027>
- GONZÁLEZ-ACUÑA, D. 2020. Editorial: SARS-CoV-2 y las aves. *Revista Chilena de Ornitología* 26: 1-3.
- GORBALENYA, A.E., S.C. BAKER, R.S. BARIC, R.J. DE GROOT, C. DROSTEN, A.A. GULYAEVA, B.L. HAAGMANS, C. LAUBER, A.M. LEONTOVICH, B.W. NEUMAN, D. PENZAR, S. PERLMAN, L.L.M. POON, D.V. SAMBORSKIY, I.A. SIDOROV, I. SOLA & J. ZIEBUHR. 2020. The species Severe acute respiratory syndrome-related coronavirus: classifying 2019-nCoV and naming it SARS-CoV-2. *Nature Microbiology* 5: 536-544.
- GOUDARZI, S. 2016. Las epidemias resucitadas del permafrost. *Investigación y Ciencia* 482: 4-5.
- GRANT, W.B., H. LAHORE, S.L. McDONNELL, C.A. BAGGERLY, C.B. FRENCH, J.L. ALIANO & H.P. BHATTOA. 2020. Evidence that vitamin D supplementation could reduce risk of influenza and covid-19 infections and deaths. *Nutrients* 12. doi:10.3390/nu12040988
- HANSKI, I., L. VON HERTZEN, N. FYHRQUIST, K. KOSKINEN, K. TORPPA, T. LAATIKAINEN, P. KARISOLA, P. AUVINEN, L. PAULIN, M.J. MÄKELÄ, E. VARTIAINEN, T.U. KOSUNEN, H. ALENUS & T. HAAHTELA. 2012. Environmental biodiversity, human microbiota, and allergy are interrelated. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 109: 8334-8339.
- HEMIDA, M.G. & M.M.B. ABDUALLAH. 2020. The SARS-CoV-2 outbreak from a one health perspective. *One Health*. doi.org/10.1016/j.onehlt.2020.100127
- HOLLINGSWORTH, J.W., S.R. KLEEBERGER & W.M. FOSTER. 2007. Ozone and pulmonary innate immunity. *Proceedings of the American Thoracic Society* 4: 240-246.
- HOLMES, E.C. 2016. The expanding virosphere. *Cell Host and Microbe* 20: 270-280.
- HORTON, R. & S. LO. 2015. Planetary health: a new science for exceptional action. *Lancet* 386: 1921-1922.
- HUGHES, L.A., C. SAVAGE, C. NAYLOR, M. BENNETT, J. CHANTREY & R. JONES. 2009. Genetically diverse coronaviruses in wild bird populations of northern England. *Emerging Infectious Diseases* 15: 1091-1094.
- ICTV [International Committee on Taxonomy of Viruses]. 2020. The new scope of virus taxonomy: partitioning the virosphere into 15 hierarchical ranks. *Nature Microbiology* 5: 668-674.
- JOHNSTON, N, M. ROGERS, N. CROSS & A. SOCHAN. 2005. Global and planetary health: teaching as if the future matters. *Nurse Education Perspectives* 26: 152-156.
- JORDAN, B.J., D.A. HILT, R. POULSON, D.E. STALLKNECHT & M.W. JACKWOOD. 2015. Identification of avian coronavirus in wild aquatic birds of the central and eastern USA. *Journal Wildlife Diseases* 51: 218-221.
- KAHN, L.H., B. KAPLAN, T.P. MONATH & J.H. STEELE 2008. Teaching "one medicine, one health". *American Journal of Medicine* 121:169-170.
- KRAEMER, M. & CH. YANG & B. GUTIÉRREZ, C-H. WU, B. KLEIN, D. PIGOTT, L. PLESSIS, & N. NUNO, R. LI, W. HANAGE, J. BROWNSTEIN, M. LAYAN, A. VESPIGNANI, H. TIAN, C. DYE, O. PYBUS & S. SCARPINO. 2020. The effect of human mobility and control measures on the COVID-19 epidemic in China. *Science* 368. doi: 10.1126/science.abb4218
- KWON, D. 2017. Bats a major global reservoir of coronaviruses. *The Scientist*. <https://www.the-scientist.com/the-nutshell/bats-a-major-global-reservoir-of-coronaviruses-31369>. Acceso: 9 de marzo de 2020.
- LAM, T.T., N. JIA, Y-W. ZHANG, M.H-H. SHUM, J-F. JIANG, H-C. ZHU, Y-G. TONG, Y-X. SHI, X-B. NI, Y-S. LIAO, W-J. LI, B-G. JIANG, W. WEI, T-T. YUAN, K. ZHENG, X-M. CUI, J.L. PEI, X. QIANG, W.Y-M. CHEUNG, L-F. LI, F-F. SUN, S. QIN, J-C. HUANG, G.M. LEUNG, E.C. HOLMES, Y-L. HU, Y. GUAN & W-C. CAO. 2020. Identifying SARS-CoV-2-related coronaviruses in Malayan pangolins. *Nature*. doi.org/10.1038/s41586-020-2169-0
- LAPORTA, G.Z., P.I. LOPEZ DE PRADO, R.A. KRAENKEL, R.M. COUTINHO & M.A. SALLUM. 2013. Biodiversity can help prevent malaria outbreaks in tropical forests. *PLoS Neglected Tropical Diseases* 7:e2139.
- LECUIT, M & M. ELOIT. 2013. The human virome: new tools and concepts. *Trends in Microbiology* 21: 510-515.
- LI, Y, P. LI, F. LEI, S. GUO, C. DING, Z. XIN, Y. HE, B. YAN, Z. KOU, S. TANG, Z. ZHANG, Z. HU & T. LI. 2010. Persistent circulation of highly pathogenic influenza H5N1 virus in Lake Qinghai area of China. *Avian Diseases* 54: 821-829.
- LOUGHRAN, J. 2013. Pedagogy: making sense of the complex relationship between teaching and learning. *Curriculum Inquiry* 43: 118-141.
- LOVELOCK, J.E. & L. MARGULIS. 1974. Atmospheric homeostasis by and for the biosphere: the Gaia hypothesis. *Tellus* 26: 2-10.
- LOZUPONE, C.A., J.I. STOMBAUGH, J.I. GORDON, J.K. JANSSON & R. KNIGHT. 2012. Diversity, stability and resilience of the human gut microbiota. *Nature* 489: 220-230.
- MATHEW, C. 2019. Viruses aren't all nasty – some can actually protect our health. *The Conversation*. <https://theconversation.com/viruses-arent-all-nasty-some-can-actually-protect-our-health-117678>
- MATURANA, H & F. VARELA. 1994. *El árbol del conocimiento*. Editorial Universitaria S.A., Santiago, Chile. 172 pp.
- MÉNDEZ, J. 2015. No todo es lo que parece: algunos virus pueden

- ser buenos. *Scientific American*. <https://www.scientificamerican.com/espanol/noticias/no-todo-es-lo-que-parece-algunos-virus-pueden-ser-buenos/>.
- MILLS, J.N. 2006. Biodiversity loss and emerging infectious disease: an example from the rodent-borne hemorrhagic fevers. *Biodiversity* 7: 9-17.
- MYERS, S.S. 2017. Planetary health: protecting human health on a rapidly changing planet. *Lancet* 390: 2860-2868.
- NIEMAN, D.C. & B.K. PEDERSEN. 1999. Exercise and immune function recent developments. *Sports Medicine* 27: 73-80.
- OSTFELD, R.S. & F. KEESING. 2000. Biodiversity and disease risk: the case of Lyme disease. *Conservation Biology* 14: 722-728.
- PATZ, J.A. T.K. GRACZYK, N. GELLER & A.Y. VITTOR. 2000. Effects of environmental change on emerging parasitic diseases. *International Journal of Parasitology* 30: 1395-1405.
- PAULES, C.I., H.D. MARSTON & A.S. FAUCL. 2020. Coronavirus infections - more than just the common cold. *Journal of the American Medical Association* 323: 707-708.
- PONGSIRI, M.J., J. ROMAN, V.O. EZENWA, T.L. GOLDBERG, H.S. KOREN, S.C. NEWBOLD, R.S. OSTFELD, S.K. PATTANAYAK & D.J. SALKELD. 2009. Biodiversity loss affects global disease ecology. *BioScience* 59: 945-954.
- PRESSMAN, S.D. & L.L. BLACK. 2012. Positive emotions and immunity. Pp. 1-26, in Segerstrom, S.C. (eds.) *The Oxford Handbook of Psychoneuroimmunology*. doi:10.1093/oxfordhb/9780195394399.013.0006
- RACANIELLO, V. 2015. Your viral past. *Virology Blog*. <https://www.virology.ws/2015/06/04/your-viral-past/>. Acceso: 13 de abril de 2020.
- RACANIELLO, V. 2018. Viruses are falling from the skies. *Virology Blog*. <https://www.virology.ws/2018/04/19/viruses-are-falling-from-the-skies/>. Acceso: 13 de abril de 2020.
- RECHE, I., G. D'ORTA, N. MLADENOV, D.M. WINGET & A.C. SUTTLE. 2018. Deposition rates of viruses and bacteria above the atmospheric boundary layer. *ISME Journal* 12: 1154-1162.
- ROBBINS, J. 2018. Trillions upon trillions of viruses fall from the sky each day. *The New York Times*. <https://www.nytimes.com/2018/04/13/science/virosphere-evolution.html>. Acceso: 13 de abril de 2020.
- RODE VON ESSEN, M., M. KONGSBK, P. SCHJERLING, K. OLGAARD, N. ØDUM & C. GEISLER. 2010. Vitamin D controls T cell antigen receptor signaling and activation of human T cells. *Nature Immunology* 11: 344-349.
- ROOK, G.A.W., V. ADAMS, J. HUNT, R. PALMER, R. MARTINELL & L.R. BRUNET. 2004. *Mycobacteria* and other environmental organisms as immunomodulators for immunoregulatory disorders. *Seminars in Immunopathology* 25: 237-255.
- RUYTS, S.C., E. AMPOORTER, E.C. COIPAN, L. BAETEN, D. HEYLEN, H. SPRONG, E. MATTHYSEN & K. VERHEYEN. 2019. Diversifying forest communities may change Lyme disease risk: extra dimension to the dilution effect in Europe. *Parasitology* 143: 1-10.
- SALMON, P. 2001. Effects of physical exercise on anxiety, depression, and sensitivity to stress: a unifying theory. *Clinical Psychology Review* 21: 33-61.
- SCARPELLINI, E., G. IANIRO, F. ATTILI, C. BASSANELLI, A. DE SANTIS & A. GASBARRINI. 2015. The human gut microbiota and virome: potential therapeutic implications. *Digestive and Liver Disease* 47: 1007-1012.
- SCHMIDT, A. & R.S. OSTFELD. 2001. Biodiversity and the dilution effect in disease ecology. *Ecology* 82: 609-619.
- SCHWARTZ, B.S. & P.V. CHIN-HONG. 2017. A call to action: infectious diseases medical educators needed. *Journal of Infectious Diseases* 216 (suppl.): 600-605.
- SEHGAL, R.N.M. 2010. Deforestation and avian infectious disease. *Journal of Experimental Biology* 213: 955-960.
- SLINGSBY, D.R. & S. BARKER. 2005. The role of learned societies, government agencies, NGOs, advocacy groups, media, schools, and environmental educators in shaping public understanding of ecology. Pp. 72-87, in Johnson, E. & M. Mappin (eds.) *Environmental education and advocacy: changing perspectives of ecology and education*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.
- STRACHAN, D.P. 1989. Hay fever, hygiene and household size. *British Medical Journal* 299: 1259-1260.
- STRACHAN, D.P. 2000. Family size, infection and atopy: the first decade of the "hygiene hypothesis". *Thorax* 55 (Suppl 1): S2-S10.
- SUZÁN, G., F. ESPONDA, R. CARRASCO-HERNÁNDEZ & A.A. AGUIRRE. 2012. Habitat fragmentation and infectious disease ecology. Pp. 135-150, in Aguirre, A.A., R.S. Ostfeld & P. Daszak (eds.) *New directions in conservation medicine: applied cases of ecological health*. Oxford University Press, Nueva York, EE.UU.
- SUZÁN, G., J.T. GIERMAKOWSKI, E. MARCÉ, H. SUZÁN-AZPIRI, B. ARMIÉN & T.L. YATES. 2006. Modeling hantavirus reservoir species dominance in high seroprevalence areas on the Azuero Peninsula of Panama. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 74: 1103-1110.
- SWADDLE, J.P. & S.E. CALOS. 2008. Increased avian diversity is associated with lower incidence of human West Nile infection: observation of dilution effect. *PLoS ONE* 3: e2488.
- TRAVIS, J. 2003. All the World's a phage - viruses that eat bacteria abound and surprise. *Science* 164: 26-27.
- Verdugo, C., A. Pinto, N. Ariyama, M. Moroni & C. Hernández. 2018. Molecular identification of avian viruses in Neotropical cormorants (*Phalacrocorax brasilianus*) in Chile. *Journal of Wildlife Diseases* 55: 105-112.
- Vidal, J. 2020. Destroyed habitat creates the perfect conditions for coronavirus to emerge. *Scientific American*. <https://www.scientificamerican.com/article/destroyed-habitat-creates-the-perfect-conditions-for-coronavirus-to-emerge/>. Acceso: 22 de marzo de 2020.
- VON HERTZEN, L., I. HANSKI & T. HAAHTELA. 2011. Natural immu-

- nity. *EMBO reports* 12: 1089-1093.
- WEITZ, J.S. & S.W. WILHEM. 2013. An ocean of viruses. *The Scientist*. <https://www.the-scientist.com/features/an-ocean-of-viruses-39112>.
- WILLE M., E. HARVEY, M. SHI, D. GONZÁLEZ-ACUÑA, E.C. HOLMES & A.C. HURT. 2020. Sustained RNA virome diversity in Antarctic penguins and their ticks. *The ISME Journal* 14: 1768-1782.
- WOLFE, N.D., M.N. EITEL, J. GOCKOWSKI, P.K. MUCHAAL, C. NOLTE, A.T. PROSSER, J.N. TORIMIRO, S.F. WEISE & D.S. BURKE. 2000. Deforestation, hunting and the ecology of microbial emergence. *Global Change and Human Health* 1: 10-25.
- XIA, X. 2020. Extreme genomic CpG deficiency in SARS-CoV-2 and evasion of host antiviral defense. *Molecular Biology and Evolution*. doi:10.1093/molbev/msaa094
- YE, Z.W., S. YUAN, K.S. YUEN, S.Y. FUNG, C.P. CHAN & D.Y. JIN. 2020. Zoonotic origins of human coronaviruses. *International Journal of Biological Sciences* 16: 1686-1697.
- YI, Y., P.N.P LAGNITON, S. YE, E. LI & R.H. XU. 2020. COVID-19: what has been learned and to be learned about the novel coronavirus disease. *International Journal of Biological Sciences* 16: 1753-1766.
- ZHOU, D., H. ZHANG, Z. BAI, A. ZHANG, F. BAI, X. LUO, Y. HOU, X. DING, B. SUN, X. SUN, N. MA, C. WANG, X. DAI & Z. LU. 2016. Exposure to soil, house dust and decaying plants increases gut microbial diversity and decreases serum immunoglobulin E levels in BALB/c mice. *Environmental Microbiology* 18: 1326-1337.
- ZIMMER, C. 2015. *A planet of viruses*. Second Edition. University Chicago Press, Londres, Reino Unido. 122 pp.