

ECOEPIDEMIOLOGÍA Y NUEVOS PRINCIPIOS GENERALES DE BIOSEGURIDAD: ASPECTOS AMBIENTALES DE LA PATOGÉNESIS DEL COVID-19

Émilien Vilas Boas Reis¹

Escola Superior Dom Helder Câmara (ESDHC) |

Bruno Torquato de Oliveira Naves²

Escola Superior Dom Helder Câmara (ESDHC) |

RESUMEN

La pandemia de COVID-19 replanteó, en el foco de la epidemiología, la zoonosis y las cuestiones ambientales que favorecen la aparición y el contagio de enfermedades infecciosas. Así, mediante la investigación bibliográfica, con un método teórico-cualitativo, se buscó analizar la influencia de los aspectos ambientales en la patogénesis de algunas enfermedades infecciosas, especialmente del COVID-19, y qué respuesta se puede formular en el caso de que se verifique la incidencia de esos factores ambientales. Se concluyó que el factor ambiental y el comportamiento humano han sido esenciales en la aparición de varias enfermedades infecciosas. Por lo tanto, sólo el pensamiento complejo puede llevar a la epidemiología a la comprensión de las causas, las medidas para mitigar la propagación y el tratamiento. Por ello, se aportaron los enfoques de la ecoepidemiología y la bioética, que piensan los problemas de manera amplia, integrando nuevas áreas de conocimiento. Por último, se propusieron nuevos principios generales de bioseguridad para hacer frente a las enfermedades zoonóticas.

Palabras clave: bioética; bioseguridad; epidemiología; principios; zoonosis.

1 Post-Doctorado en Filosofía por la Universidade do Oporto (UP). Doctor en Filosofía por la Pontificia Universidade Católica de Rio Grande do Sul (PUC-RS). Máster en Filosofía por la PUC-RS. Licenciado en Filosofía por la Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Profesor adjunto de la ESDHC en los niveles de grado y postgrado (Máster/Doctorado). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0729-522X> / e-mail: mboasr@yahoo.com.br

2 Doctorado y Máster en Derecho por la Pontificia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC-MINAS). Profesor del Máster en Derecho Ambiental y Desarrollo Sostenible de la ESDHC. Coordinador del curso de especialización en Derecho Urbano y Ambiental de la PUC-MINAS Virtual. Profesor de cursos de pregrado y de especialización en Derecho en la PUC-MINAS y en la ESDHC. Investigador del Centro de Estudios de Bioderecho (CEBID). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0961-1882> / e-mail: brunotorquato@hotmail.com

*ECOEPIDEMIOLOGY AND NEW GENERAL PRINCIPLES
OF BIOSAFETY: ENVIRONMENTAL ASPECTS OF COVID-19
PATHOGENESIS*

ABSTRACT

The COVID-19 pandemic has repositioned, in the focus of epidemiology, zoonosis and environmental issues that favor the appearance and contagion of infectious diseases. Thus, through bibliographic research, using a theoretical-qualitative method The influence of environmental aspects on the pathogenesis of some infectious diseases, especially COVID-19, was analyzed, and what response can be formulated if the incidence of these environmental factors occurs. It was concluded that the environmental factor and human behavior have been essential in the appearance of several infectious diseases. In this way, only the complex thought can lead to epidemiology to the understanding of the causes, the measures to mitigate the spread and treatment. Therefore, ecoepidemiology and Bioethics approaches were brought up, which think the problems in a comprehensive way, integrating new areas of knowledge. Finally, new general Biosafety principles were proposed to deal with zoonotic diseases.

Keywords: *bioethics; biosafety; epidemiology; principles; zoonosis.*

INTRODUCCIÓN

La epidemiología no ha sufrido grandes transformaciones en los últimos 100 años debido únicamente a los avances tecnológicos y médicos. La transformación más significativa ha sido la metodológica. Las enfermedades no pueden ser analizadas por teorías fragmentarias, que segmentan el conocimiento científico.

Eso se ha puesto muy en evidencia en la pandemia de COVID-19. Su implicación en el planeta Tierra todavía se estudiará mucho. Los efectos sociales, económicos, filosóficos, políticos y de salud pública están lejos de ser comprendidos en su totalidad, debido a que, en ese momento, aún se está intentando controlar la enfermedad infecciosa y porque estamos en medio de la pandemia.

Sin embargo, enfermedades como el COVID-19 son una constante en la historia de la humanidad. Sólo en este siglo, enfermedades como el SARS (Síndrome Respiratorio Agudo Severo) en 2004, la gripe aviar en 2005 y la gripe porcina en 2009 han tenido cierta repercusión en la prensa por su alcance, aunque no sea comparada con los efectos de COVID-19.

Un aspecto que se ha destacado en el análisis de esas enfermedades infecciosas, y especialmente del COVID-19, es que en la gran mayoría de los casos se producen por zoonosis, es decir, se transmiten en la relación entre otros animales y los humanos.

Por último, se pretende analizar la influencia de los aspectos ambientales en la patogénesis de algunas enfermedades infecciosas, especialmente del COVID-19, y qué respuesta se puede formular si la incidencia de esos factores ambientales se verifique.

Esta es una investigación bibliográfica, con método teórico-cualitativo, realizada a través de fuentes de epidemiología, bioética y bioseguridad.

En ese sentido, el artículo abordó cuatro puntos principales: (a) la zoonosis; (b) cómo la intervención y la relación del hombre en el medio ambiente son un medio que permite la propagación de enfermedades, como el COVID-19, en los seres humanos; (c) cuál es la respuesta metodológica de la epidemiología actual; y (d) cómo la bioética y la bioseguridad pueden ayudar a responder a esos problemas.

1 ZOONOSIS, ENFERMEDADES INFECCIOSAS Y CUESTIONES AMBIENTALES

La relación del ser humano con la naturaleza es inevitable, al ser una cuestión de supervivencia de la especie. Sin embargo, al mismo tiempo, esa relación pone en peligro a la especie. Un área de conocimiento denominada epidemiología espacial (o del paisaje) estudia la variación espacial del riesgo y la incidencia de las enfermedades. Es posible verificar, a través de las relaciones entre los seres humanos, la interferencia en el medio natural y, por consiguiente, en la ecología de los seres que pueden causar infecciones. El creador del término *epidemiología del paisaje*, el médico ruso Eugene Pavlovsky, afirmó que, entre otras causas, una enfermedad infecciosa depende de agentes que pueden propagar la transmisión de la infección de un organismo a otro, haciendo que haya circulación del agente patógeno (LAMBIN *et al.*, 2010).

En ese sentido, la interferencia humana en el medio ambiente y la biodiversidad ha acentuado la propagación de enfermedades originadas por bacterias, virus u otros seres, lo que puede desencadenar el retorno de una enfermedad o la aparición de una nueva, como posiblemente fue el caso del COVID-19.

Lambin *et al.* (2010), por ejemplo, revisaron las conclusiones de ocho estudios de caso, en diferentes lugares, sobre el impacto de los cambios ambientales en las enfermedades transmitidas por vectores y/o animales. Esos fueron: (a) Transmisión del virus del Nilo Occidental (WNV), en la cuenca del río Senegal; (b) Incidencia de la encefalitis transmitida por garrapatas (TBE), en zonas rurales de Letonia; (c) Abundancia de mosquitos-paja, en los Pirineos franceses, (d) Enfermedad del Valle del Rift (RVF), en la región semiárida de Ferlo, Senegal; (e) Animales hospedadores del virus del Nilo Occidental (WNV) en la región de la Camarga, Francia; (f) Puumala Hantavirus transmitido por roedores (PUUV) en Bélgica; (g) Distribución geográfica de los casos humanos de borreliosis de Lyme (LB) en Bélgica; (h) Riesgo de resurgimiento de la malaria en Camarga.

Basándose en dichos estudios de casos, Lambin *et al.* (2010) han utilizado diferentes métodos, como la cartografía del suelo, los modelos estadísticos espaciales y el conocimiento de las enfermedades, para verificar la relación entre los cambios en el medio ambiente,

los vectores, los animales huéspedes y los seres humanos. Así, sintetizaron el estudio en diez proposiciones relacionadas con la epidemiología del paisaje. Esas propuestas se presentan a continuación, seguidas de comentarios.

- 1. Los atributos del paisaje pueden influir en el nivel de transmisión de una infección:** el comportamiento y las características de los artrópodos vectores y de los huéspedes no humanos dependen de las características del paisaje. Así, la distribución de los vectores y el nivel de transmisión dependen del ambiente.
- 2. Las variaciones espaciales del riesgo de enfermedad dependen no sólo de la presencia y la superficie de los hábitats críticos, sino también de su configuración espacial:** paisajes fragmentados, ecotonos (zonas de transición entre diferentes ecosistemas), aumentan la posibilidad de contacto entre diferentes especies, lo que puede provocar la propagación de enfermedades infecciosas.
- 3. El riesgo de enfermedades depende de la conectividad de los hábitats de vectores y hospederos:** la proximidad del hábitat de los vectores y de los hospederos no significa necesariamente la transmisión de enfermedades, ya que el propio paisaje natural puede circunscribir el alcance de ellos.
- 4. El paisaje es un factor para las asociaciones específicas de hospederos y de reservorios de vectores vinculadas a la aparición de múltiples enfermedades de hospederos:** ciertas enfermedades pueden llegar al ser humano a través de diferentes hospederos, a partir de una compleja relación previa entre diferentes hospederos y vectores causada por cambios en el paisaje.
- 5. Para comprender los factores ecológicos que influyen en las variaciones espaciales del riesgo de enfermedad, hay que tener en cuenta las vías de transmisión de los patógenos entre los vectores, los huéspedes y el entorno físico:** la transmisión de enfermedades al ser humano, además de producirse directamente, por el contacto con el huésped, también puede producirse indirectamente, sin contacto con el hospedero, por la permanencia del virus en el medio ambiente, debido a causas climáticas y a las características del suelo. Así, una enfermedad puede empezar a propagarse debido a cambios en las características que existían anteriormente en una región determinada, que controlaban de forma natural la transmisión.

6. **La aparición y distribución de la infección en el tiempo y el espacio están controladas por diferentes factores que actúan a múltiples escalas:** las enfermedades pueden surgir como resultado de los cambios políticos y económicos en una región determinada, al alterar el comportamiento para la supervivencia humana, como la urbanización, por ejemplo, que hace que los seres humanos se trasladen a una región, anteriormente deshabitada, que es potencialmente infecciosa para ellos.
7. **Los factores paisajísticos y meteorológicos controlan no sólo la aparición, sino también la concentración espacial y la propagación del riesgo de infección:** el cambio climático puede crear factores para la propagación de enfermedades infecciosas anteriormente controladas por factores climáticos naturales, por ejemplo, una mayor incidencia de las lluvias en una determinada región.
8. **La variación espacial del riesgo de enfermedad no sólo depende de la cobertura del suelo, sino también de su uso, a través de la probabilidad de contacto entre, por un lado, los hospederos humanos y, por otro, los vectores infecciosos, los hospederos animales o sus hábitats infectados:** el tipo de actividad que realizan los grupos humanos en una región influye en el riesgo de tener enfermedades infecciosas.
9. **La relación entre el uso de la tierra y la probabilidad de contacto entre los vectores y los hospederos animales y humanos está influenciada por la propiedad de la tierra:** los lugares públicos tienen más acceso a los individuos en general que los lugares privados, lo que permite ver que hay una mayor incidencia de enfermedades infecciosas en el primero.
10. **El comportamiento humano es un factor crucial de control de los contactos vector-humano y de la infección:** se deben adoptar medidas preventivas para minimizar los riesgos de infección, lo que hace que el comportamiento humano sea fundamental en la lucha contra las enfermedades infecciosas.

Aunque se trata de hipótesis que dependen de más estudios para consolidarse, las proposiciones anteriores dan una indicación de cómo existe una relación directa entre las acciones humanas y la transmisión de enfermedades infecciosas. Hay una combinación de factores sociales (como la migración, el uso de la tierra, la política

y la economía) y ecológicos (como el ciclo de los patógenos y las características de los vectores, los hospederos y los patógenos, y el conocimiento de los ecosistemas) que influyen en la transmisión. Sin embargo, se hace hincapié en el papel humano fundamental en la propagación de las enfermedades infecciosas.

Kilpatrick y Randolph (2012), a su vez, llaman la atención sobre el hecho de que en las últimas dos o tres décadas se ha intensificado la incidencia de patógenos endémicos, lo que no está asociado a los ciclos naturales, sino a la participación humana. Por un lado, los agentes patógenos han aparecido en lugares distintos a los de su origen, lo que está relacionado con la migración humana, que lleva el agente patógeno a nuevos lugares, por otro lado, el aumento de los agentes patógenos en sus hábitats originales también depende de una cierta participación humana, que influye en el cambio local. En ese sentido, el desplazamiento, la urbanización y la deforestación son acciones que aumentan la posibilidad de transmisión de patógenos.

Los autores infieren que la mejor manera de hacer frente a los patógenos endémicos incluye la planificación urbana y el control de las comunidades ecológicas. Y, de forma bastante contundente, afirman: “History suggests that successful control needs prompt identification, swift action, and occasionally draconian social measures” (KILPATRCK; RANDOLPH, 2012, p. 1953).

Desde los años 40, se han identificado 400 enfermedades infecciosas. Pandemias relativamente recientes como el VIH, el SARS y Influenza H1N1 han surgido de los animales y han tenido como causas aspectos ecológicos y sociales. A pesar de las repetidas pandemias de las últimas décadas, sigue siendo difícil predecirlas antes de que se produzcan entre los humanos. El resultado es un daño para la salud, la economía y la vida en general.

Morse *et al.* (2012) constatan que: (a) el número de nuevos patógenos ha aumentado considerablemente en los últimos años, incluso con todo el cuidado científico; (b) la aparición de enfermedades está relacionada con aspectos antropogénicos; y (c) la aparición de patógenos zoonóticos de origen silvestre está relacionada con la densidad de población cerca de ambientes de alta biodiversidad silvestre. Los investigadores sugieren que, basándose en modelos, se utilicen recursos globales en las regiones más susceptibles, en un intento de prevenir enfermedades infecciosas o de hacer frente rápidamente a

posibles brotes. Eso debería hacerse utilizando datos sobre las características de las enfermedades infecciosas, la diversidad de la fauna, la densidad de población y los posibles cambios en esa densidad, para proponer modelos probabilísticos sobre si un lugar determinado generará una nueva enfermedad infecciosa, indicando los puntos críticos en el planeta.

Investigadores trabajan con la noción de que hay diferentes etapas de transmisión de enfermedades infecciosas. Morse *et al.* (2012) se dividen en tres, como sigue:

- a) **Etapa 1:** denominada fase de preemergencia, se identifica por la transmisión de microbios (virus, bacterias, protozoos, etc.) a animales no humanos, con diseminación en otros animales salvajes. Se genera por los cambios ecológicos, sociales y socioeconómicos, provocando un aumento del patógeno en sus huéspedes.
- b) **Etapa 2:** emergencia localizada, en la que hay transmisión, inicialmente de animales no humanos a humanos, y posteriormente entre humanos, para algunas generaciones de los patógenos.
- c) **Etapa 3:** emergencia pandémica total, que es el momento en el que se produce una diseminación global a gran escala, propagada por los viajes aéreos. Cuanta más información se tenga sobre el proceso, mayor será la posibilidad de prevenir pandemias, que pueden ser raras, porque la mayoría de los patógenos no son capaces de perpetuar grandes transmisiones.

Al alcanzar la etapa 3, el siguiente ejemplo del SARS es bastante esclarecedor sobre el proceso de transmisión:

For example, SARS, which originated from the SARS-like coronaviruses of bats, emerged in China in 2003 and was due to hunting and trading of bats for food. In the wildlife markets of southern China these bat viruses seemed to become stage 1 pathogens, which spilled over to civets before being transmitted to people and achieving stage 2. SARS coronavirus then underwent repeated cycles of transmission in people, and spread nationally and then globally (ie, reached stage 3), including 251 cases as far away as Toronto (MORSE *et al.*, 2012, p. 1958).

Se observa que la interferencia humana en el medio ambiente, a través de la modificación acentuada de los espacios naturales, como la urbanización o las actividades agrícolas, permite un mayor contacto de los seres humanos con los animales afectados por enfermedades infecciosas.

Un estudio reciente (GIBB *et al.*, 2020) corrobora dicha

hipótesis, aportando más elementos que enfatizan esa noción. Los autores recopilaron información de 6.801 conjuntos ecológicos, faunas, a través de un conjunto de datos de biodiversidad denominado Proyecto de Respuestas de la Diversidad Ecológica en los Sistemas Terrestres Cambiantes (*Projecting Responses of Ecological Diversity in Changing Terrestrial Systems* – PREDICTS), con datos sobre asociaciones huésped-patógeno y huésped-parásito, creando un conjunto de datos global sobre la diversidad de huéspedes zoonóticos (bacterias, virus, protozoos, helmintos y algunos hongos). Esos datos recopilan 3,2 millones de registros. El estudio comparó la comunidad de huéspedes de la fauna silvestre en la vegetación primaria (sitios con mínima alteración humana), con la comunidad de huéspedes en sitios cercanos que han sufrido algún grado de alteración humana, divididos en: vegetación secundaria (vegetación que se ha recuperado de alteraciones anteriores); ecosistemas gestionados (cultivos, pastos y plantaciones); y sitios urbanos de impactos variables. En esas localidades se registraron 376 especies de hospederos, que han sido comparados entre los tipos de tierra.

La investigación (GIBB *et al.*, 2020) consideró numerosas especies de huéspedes, pero tuvo especial cuidado con los mamíferos y las aves, ya que se sabe que dichos grupos son los principales reservorios de zoonosis, y los mamíferos son filogenéticamente muy cercanos a los humanos. Así, de los 546 mamíferos estudiados, 190 especies tenían al menos un patógeno compartido con los humanos y 96 especies tenían al menos un patógeno no compartido. Eso ilustra lo susceptibles que son los humanos a las enfermedades transmitidas por los mamíferos. Los autores llamaron la atención sobre los murciélagos, los roedores y ciertas aves como especies altamente transmisoras de la enfermedad. Comprobaron que el uso de la tierra tiene efectos en las comunidades de huéspedes, ya que el número de especies (entre el 18 y el 72%) y de individuos (entre el 21 y el 144%) capaces de transmitir la enfermedad es mayor en los ambientes donde hay intervención humana que en los ambientes cercanos sin interferencia.

El estudio de las causas ambientales de las enfermedades está vinculado desde hace tiempo al cambio climático. Sin embargo, en los últimos años, los investigadores se han dado cuenta de que los cambios producidos por el hombre en el uso de la tierra

son potencialmente perjudiciales, ya que aumentan el riesgo de infecciones y enfermedades. Esos cambios incluyen la pérdida de biodiversidad, la alteración de los paisajes y el aumento del contacto entre los seres humanos y otros animales, lo que hace que los seres humanos sean más susceptibles a los patógenos endémicos, que pueden dar lugar a pandemias.

Overall, our results indicate that the homogenizing effects of land use on biodiversity globally have produced systematic changes to local zoonotic host communities, which may be one factor underpinning links between human-disturbed ecosystems and the emergence of disease. [...] The global expansion of agricultural and urban land that is forecast for the coming decades – much of which is expected to occur in low-and middle-income countries with existing vulnerabilities to natural hazards – thus has the potential to create growing hazardous interfaces for zoonotic pathogen exposure. In particular, the large effect sizes but sparser data availability for urban ecosystems (especially for mammals; Extended Data Fig. 4) highlight a key knowledge gap for anticipating the effects of urbanization on public health and biodiversity. Our findings support calls to enhance proactive human and animal surveillance within agricultural, pastoral and urbanizing ecosystems and highlight the need to consider disease-related health costs in land use and conservation planning (GIBB *et al.*, 2020, p. 4).

Incluso una perspectiva de precaución limitada al aspecto económico, el aumento de las superficies cultivadas y el crecimiento de las ciudades debe tener en cuenta el coste sanitario producido por los nuevos riesgos y epidemias.

1.1 La pandemia del COVID-19

El COVID-19 apareció por primera vez en la región de Wuhan, provincia de Hubei, China, en diciembre de 2019. Los primeros pacientes tenían una relación con el mercado de la región, que vendía animales vivos.

Since Dec 8, 2019, several cases of pneumonia of unknown aetiology have been reported in Wuhan, Hubei province, China. Most patients worked at or lived around the local Huanan seafood wholesale market, where live animals were also on sale. [...] On Jan 7, a novel coronavirus was identified by the Chinese Center for Disease Control and Prevention (CDC) from the throat swab sample of a patient [...] (CHEN, 2020, p. 507).

Aunque estudios recientes sugieren que el virus ya estaba presente en los países antes del brote en China (BASAVAJARU *et al.*,

2020; CHAVARRIA-MIRÓ *et al.*, 2020), hay fuertes indicios de que el virus comenzó en los murciélagos, aunque no se descarta que otros animales salvajes sean potenciales transmisores. Los murciélagos se consideran animales con una alta posibilidad de infectar a los humanos con enfermedades. Tras el brote de SARS (*Severe Acute Respiratory Syndrome* –Síndrome Respiratorio Agudo Severo), se descubrieron numerosos coronavirus potencialmente dañinos para el ser humano. También en enero de 2020, investigadores chinos (ZHOU *et al.*, 2020) secuenciaron el genoma de cinco pacientes en fase inicial de la enfermedad y descubrieron que el 96% del genoma del virus de los pacientes era idéntico al genoma del coronavirus del murciélago, además, señalaron que el virus pertenece a la especie SARS-CoV.

Hay la posibilidad de que el virus se haya transmitido a otro hospedero antes de llegar a los humanos, pero todavía deben realizarse más investigaciones.

Phylogenetic analysis showed that bat-derived coronavirus fell within all five subgenera of the genus Betacoronavirus. [...] However, despite the importance of bats, several facts suggest that another animal is acting as an intermediate host between bats and humans. First, the outbreak was first reported in late December, 2019, when most bat species in Wuhan are hibernating. Second, no bats were sold or found at the Huanan seafood market, whereas various non-aquatic animals (including mammals) were available for purchase. [...] Therefore, on the basis of current data, it seems likely that the 2019-nCoV causing the Wuhan outbreak might also be initially hosted by bats, and might have been transmitted to humans via currently unknown wild animal(s) sold at the Huanan seafood market (LU *et al.*, 2020).

Zhou *et al.* (2020), llamando la atención sobre el hecho de que COVID-19 se origina en depósitos naturales, destacan la necesidad de: a) aumento de la vigilancia en amplias regiones geográficas potencialmente transmisoras de enfermedades; b) preparación temprana de vacunas que combatan las enfermedades infecciosas causadas por ese grupo de virus; y, lo que consideran más importante; y c) creación de una normativa capaz de hacer frente a la domesticación y el consumo de animales salvajes.

Es evidente que la forma en que la humanidad ha tratado el medio ambiente y la biodiversidad ha provocado la constante propagación de enfermedades. El COVID-19 no es diferente. Por mucho que haya pruebas de que la interferencia humana aumenta sensiblemente

la propagación de enfermedades, los seres humanos, en general, siguen careciendo, entre otras cosas, de una planificación de desarrollo.

En ese sentido, más que ocuparse de la pandemia en sí, hay que preocuparse del comportamiento humano en relación con el uso del suelo, los factores demográficos, la planificación urbana y la legislación.

Dicha preocupación no es descabellada, ya que recientes hallazgos (JOHNSON *et al.*, 2015) llaman la atención sobre el hecho de que las pandemias causadas por zoonosis se están convirtiendo en enfermedades con mayor potencial pandémico, lo que conlleva una mayor transmisión entre humanos a nivel mundial, como es el caso del COVID-19. El potencial pandémico está asociado a la plasticidad del hospedero, que es la capacidad de adaptación del hospedero al medio ambiente, la capacidad de transmisión de persona a persona y el alcance geográfico.

Además de que las fronteras no son un obstáculo para que las enfermedades infecciosas permanezcan dentro de un territorio nacional, dado el nivel de globalización alcanzado, específicamente, en el caso de Brasil, con un enorme territorio y diferentes tipos de hábitats naturales, debe haber una preocupación con la modificación de dichos hábitats, incluyendo la deforestación, el comercio ilegal de animales y, especialmente, la degradación de los bosques, ya que es un ecosistema con diferentes especies silvestres, incluyendo la vida microbiana.

2 ECOEPIDEMIOLOGÍA

Así, se percibe, que la epidemiología contemporánea es consciente de la importancia de los aspectos ambientales para la aparición, propagación y profilaxis de las enfermedades.

De forma didáctica, Susser y Susser presentaron, en 1996, dos importantes artículos que narran las cuatro épocas de la epidemiología. Es provocador el énfasis que se da a la variable ambiental.

El primer momento de la epidemiología fue llamado por ellos la Era de la Estadística Sanitaria y se basó en el paradigma de los miasmas (SUSSER; SUSSER, 1996a).

La Teoría del Miasma explicaba el origen de las enfermedades

por la insalubridad del ambiente, es decir, su génesis estaba en el conjunto de olores derivados de la materia en putrefacción en el suelo, las aguas subterráneas y el aire y así contaminaban al ser humano.

Hay relatos de la teoría miasmática en la antigua Grecia, y el propio Hipócrates se basó en ella. Es cierto que hasta el siglo XIX prevalecía la creencia en las emanaciones nocivas del medio ambiente, lo que justificaba los movimientos sanitarios, con un amplio uso de las estadísticas que pretendían analizar los niveles de morbilidad y mortalidad y con medidas de drenaje y saneamiento del suelo. Las estadísticas sanitarias buscaban relacionar las patologías con el ambiente insalubre.

La segunda era, descrita por Susser y Susser (1996a), era la epidemiología de las enfermedades infecciosas, basada en la teoría de los gérmenes, que defendía que la causa principal de las enfermedades es la infección por microorganismos. Así, se abandonó la explicación de la generación espontánea de los organismos invasores y se defendió que los microorganismos se transmitían de individuo a individuo, lo que impuso medidas de aislamiento, vacunación y uso de antibióticos.

Fue en esa segunda época cuando se produjo la pandemia de gripe española a principios del siglo XX. Aunque la teoría de los gérmenes ha sido simplista en lo que respecta a algunas patologías,

Whatever the causes, the great scourges of communicable disease did come under control in the developed countries. Once the major infectious agents seemed all to have been identified and communicable disease no longer overwhelmed all other mortal disorders, the force of the germ theory paradigma faded. With notable exceptions such as Rene Dubos, few anticipated the recrudescence of communicable disease or new global epidemics (SUSSER; SUSSER, 1996a, p. 670).

Ese relativo control sobre los agentes infecciosos llevó a la epidemiología a la tercera era, la de las enfermedades crónicas³, cuyo paradigma es llamado por Susser y Susser (1996a) “caja negra”, que pretende abordar los factores de riesgo que influyen en la aparición de las enfermedades. Con ello, el medio ambiente volvió a ser el centro de atención como factor interviniente o patógeno. El control

³ En Brasil, el sistema de salud pública entró en la tercera era de la epidemiología sólo en 1992, con las nuevas directrices del Centro Nacional de Epidemiología – Cenepi. En 2002, la Fundación Nacional de la Salud (Funasa) creó el Sistema Nacional de Vigilancia de Enfermedades y Afecciones No Transmisibles (Sidant). La epidemiología brasileña, como política pública, comenzó entonces a combinar dos sistemas, uno de enfermedades infecciosas y otro de enfermedades crónicas (TEIXEIRA; COSTA, 2012).

de la enfermedad impuso el control de los factores sociales (estilo de vida sedentario, calidad de la dieta, etc.) y ambientales (contaminación, exposición a agentes químicos, tabaquismo pasivo etc.).

La era epidemiológica actual, descrita como emergente por Susser y Susser ya en 1990, es la era de la ecoepidemiología, que tiene el paradigma de la “Chinese box”, ya que implicaría varios niveles de organización (molecular, social e individual) para apoyar la orientación de la epidemiología hacia la salud pública.

Las cajas chinas (“Chinese boxes”) son cajas de diferentes tamaños que anidan, cada una de ellas dentro de la próxima caja más grande. Así, en sentido figurado, ilustran situaciones en las que los recursos y los conceptos se ordenan en niveles.

Las directrices epidemiológicas pasan por diferentes niveles de organización, que consideran no sólo los factores físicos, sino también los factores relacionales, especialmente en la interacción con el medio ambiente. Porque, “[a] fully adequate causal model for public health must explain the disease at the ecological level as well as at lesser and more refined levels of organization” (SUSSEY; SUSSEY, 1996b, p. 675).

Otra diferencia importante de la época de la ecoepidemiología con respecto a las anteriores viene de la mano de la filosofía de la ciencia contemporánea: la crítica al universalismo. Sin embargo, la idea central será combinarla con el ecologismo, ya que este último se ocupa de la localización espacial y de las interacciones entre los niveles de organización, especialmente el social y el molecular.

En palabras de Susser y Susser (1996b, p. 674):

The practical implication of a localizing ecological paradigm for the design of epidemiological research is that an exclusive focus on risk factors at the individual level within populations – even given the largest numbers – will not serve. We need to be equally concerned with causal pathways at the societal level and with pathogenesis and causality at the molecular level.

La epidemiología, como otras ciencias biológicas, en sus búsquedas causales, observa hechos concretos para extraer conceptos generalizadores. Sin embargo, la realidad humana no se circunscribe a la Biología y es en eso donde el fracaso es más evidente, porque se negligencia la influencia de otros factores. Por ello, Susser y Susser (1996b) afirman que la universalización será más segura cuanto menor sea el fenómeno observado.

Una vez más, se vuelve a las cajas chinas. En un primer nivel, como en el molecular, la repetición del patrón observable conduce con mayor seguridad a un resultado universalizador. Sin embargo, los autores señalan:

But above the level of molecules, no biological entity can conform entirely to universal laws because of the overarching contexts and the interactions between levels within a biological structure. And the banal fact is that each society is influenced by its economic, political, and cultural circumstances as well as by its mix of peoples, climate, and topography. What is most universal is least biological and, most of all, least human (SUSSER; SUSSER, 1996b, p. 674).

Por lo tanto, el nuevo paradigma propuesto abordaría las relaciones dentro de los niveles de organización y entre ellos, reuniendo los determinantes y los resultados en un procedimiento de tipo ecológico.

Por consiguiente, la patogénesis no puede explicarse por un solo factor, sino por un conjunto de factores. Del mismo modo, la contaminación, la difusión, la evolución y la profilaxis también pasan por esos distintos niveles organizativos, imponiendo una amplia contextualización, sin la segmentación común a las ciencias.

De esa manera, las nuevas técnicas biomédicas son interdisciplinarias y utilizan estudios moleculares, genéticos y de comportamiento.

Aplicando los conocimientos de Susser y Susser (1996b) a la pandemia de COVID-19, se puede ver que el examen de las causas, el diagnóstico, la profilaxis y el pronóstico deben pasar por varios niveles de análisis. A nivel molecular, se determinan los medios y la ventana de transmisión del coronavirus para minimizar su continuidad. A nivel genético, se determinan las cepas existentes de SARS-CoV-2 y su proximidad a otros síndromes, lo que es importante en el proceso de desarrollo de tratamientos y vacunas. A nivel social, se fomentan los comportamientos de bioseguridad en los establecimientos comerciales, lugares de trabajo y medios de transporte. A nivel poblacional, se analizan los factores de riesgo de la población que conducen a casos más graves, como la edad. A nivel global, se evalúan las conexiones entre las diferentes sociedades para comprender la probable vía de contaminación, los mecanismos de propagación del virus, así como su variabilidad en las cepas.

Por último, la patogénesis del COVID-19 no puede circunscribirse

al factor de la variación genética de una cepa de coronavirus, porque tal mutación no tendría cabida sin la intervención humana, que creó nuevas condiciones ambientales para ello. Del mismo modo, la propagación de la enfermedad no se explica simplemente por la patogenicidad del SARS-CoV-2, sino por aspectos de comportamiento de los seres humanos.

De ahí la necesidad de devolver a la epidemiología la metodología del pensamiento complejo, como diría Edgar Morin (2003). El pensamiento complejo requiere que los distintos campos del saber colaboren entre sí en un proyecto común de conocimiento, pero también que el modo de organización del pensamiento pase por todas las disciplinas para darles unidad.

Es necesario sustituir un pensamiento que aísla y separa por un pensamiento que distingue y une. Debemos sustituir el pensamiento disyuntivo y reduccionista por el pensamiento complejo, en el sentido original de la palabra *complexus*: lo que se entretreje.

De hecho, la reforma del pensamiento no partiría de cero. Tiene sus antecedentes en la cultura de las humanidades, en la literatura y la filosofía, y se prepara en las ciencias (MORIN, 2003, p. 89).

Con tal que, el complejo abarca varias dimensiones y realidades, pero no como una suma, sino como una unidad funcional que surge de las interacciones entre todas esas dimensiones y realidades. Específicamente en el tema de las enfermedades infecciosas, es esencial considerar el principio de auto-eco-organización, que “se aplica específicamente, por supuesto, a los humanos – que desarrollan su autonomía en dependencia de su cultura – y a las sociedades – que se desarrollan en dependencia de su entorno geológico” (MORIN, 2003, p. 95).

3 BIOÉTICA Y NUEVOS PRINCIPIOS GENERALES DE BIOSEGURIDAD

Por un lado, puede decirse que el pensamiento complejo de Morin (2003) está estrechamente relacionado con el ecologismo de Susser y Susser (1996b), porque este último presupone la metodología interrelacional entre los distintos niveles de organización. Por otra parte, la bioética presenta intrínsecamente un pensamiento complejo⁴

⁴ Dicha afirmación es coherente con la necesidad de ampliar la problemática de la reflexión sobre la vida más allá de los científicos. En esa línea, Morin también afirma que “el problema de la ciencia va

y, por lo tanto, resulta fundamental para la epidemiología. Además, la doble función de la bioética – reflexiva y pragmática – tiene mucho que aportar a la equiparación del problema.

Como instancia de reflexión, la bioética se comporta filosóficamente, es decir, de forma crítica y dialogante. Por lo tanto, se puede decir que es “un campo de diálogo democrático, en el que se construye reflexivamente un conocimiento transdisciplinar compartido sobre cuestiones que implican a la vida en todas sus manifestaciones, ya sea desde una perspectiva singular o sistémica” (NAVES; REIS, 2019, p. 16).

Y como instancia pragmática, la bioética asume un papel deontológico, para orientar el comportamiento, guiando la toma de decisiones. Por lo tanto, será desde su perspectiva reflexiva-pragmática que se debe analizar la epidemiología contemporánea, de manera que se exploren los diversos niveles de organización dentro de las cajas chinas.

En el caso de la pandemia de COVID-19, el análisis multinivel, como hemos visto, pasa por varias cuestiones importantes, y suelen toparse con dilemas bioéticos, como la selección de pacientes, el impacto social de las medidas de aislamiento, el conflicto entre privacidad y salud colectiva, etc.

Sin embargo, en atención al objetivo de ese artículo de analizar la influencia de los aspectos ambientales en la patogénesis de algunas enfermedades infecciosas, especialmente del COVID-19, el enfoque bioético se centrará en la interacción de los seres humanos con otros animales. ¿Cuáles son las medidas de precaución que deben aplicarse? ¿Debemos actuar de antemano para evitar ese contacto entre especies diferentes? ¿O debería permitirse el contacto bajo medidas especiales?

Se reitera que, actualmente, la principal tesis para explicar la aparición del SARS-CoV-2 en el mercado de Wuhan, en China, es su mutación y paso a nuevos hospederos.

La principal característica de los virus es replicarse insertando su material genético en la célula huésped. En ese proceso de replicación,

más allá de los científicos. Clemenceau dijo que “la guerra es un asunto demasiado serio para dejarlo en manos de los militares”. La ciencia es un asunto demasiado serio para dejarlo únicamente en manos de los científicos. También sabemos que la ciencia se ha vuelto demasiado peligrosa para dejarla en manos del Estado. En otras palabras, la ciencia se ha convertido también en un problema cívico, un problema de los ciudadanos” (MORIN, 2007, p. 78).

las mutaciones genéticas son comunes y se producen al azar. Los individuos de las cepas más propensas a nuevas invasiones se multiplican y los de las cepas menos propensas tienden a desaparecer.

En el mercado de Wuhan se reunieron animales que, en la naturaleza, no coexistían. Y allí, los animales convivían en una situación de estrés, con sangre y fluidos cayendo de jaula en jaula. Sin duda, había un entorno favorable para las mutaciones del virus. Se especula que, replicándose innumerables veces, el coronavirus de un hospedero silvestre específico, pasó por varias mutaciones, hasta que una de ellas fue capaz de infectar a una nueva especie de hospedero, y así sucesivamente, hasta llegar al ser humano (WHO, 2021).

En ese caso concreto de COVID-19, el contacto entre animales se debió a la intervención humana deliberada. Sin embargo, la aparición del nuevo agente pandémico y el contacto entre especies no siempre será el resultado directo de esa acción voluntaria.

El contacto entre especies puede surgir de la supresión de un bosque nativo para la agricultura o la ganadería, provocando el desplazamiento geográfico de un determinado animal y dando el salto necesario para que una nueva mutación genética en un patógeno dé lugar a una nueva pandemia. O bien, puede ser el resultado del deshielo provocado por el calentamiento global, que libera en los ríos y mares microorganismos que han estado latentes durante siglos y que son capaces de migrar de huésped en huésped hasta llegar al ser humano.

Por eso, hace años, los científicos ya pronosticaban una pandemia de grandes proporciones, y ahora prevén la llegada de olas infecciosas. Se ha dado la voz de alarma, pero se ha ignorado la necesidad de aplicar el principio bioético de precaución.

El principio de precaución surgió de la preocupación bioética por los riesgos aún no medidos e inciertos según el estado actual de los conocimientos. Van Rensselaer Potter, considerado uno de los padres de la bioética, en su obra *Bioethic: Bridge to the Future*, publicada en 1971, reserva un capítulo llamado “conocimiento peligroso”. Por conocimiento peligroso Potter se refería a aquel que se acumulaba más rápido que la sabiduría para gestionarlo.

En Potter ya se perciben las ideas de riesgo e imprevisibilidad de las consecuencias, por eso mismo propone que la bioética sea un “puente”, capaz de mediar las relaciones entre las Ciencias y las Humanidades, y enfocada a los problemas ambientales y de salud.

También en la obra *Bioethic: Bridge to the Future*, en el capítulo 5, titulado *Dangerous Knowledge: The Dilemma of Modern Science*, Potter (1971, p. 69) señala:

It will be argued that knowledge can become dangerous in the hands of specialists who lack a sufficiently broad background to envisage all of the implications of their work and that educated leaders should be trained in both sciences and humanities. All the implications cannot be foreseen in any case, and all plans must provide for revision.

La precaución ha pasado de ser un principio bioético a un principio jurídico, imponiendo la cautela ante conductas que conllevan riesgos inciertos y graves ante una situación.

Carlos María Romeo Casabona explica esa apropiación del Derecho y da cuenta de la transformación que ello implica:

El principio de precaución supone el paso del modelo predictivo (conocimiento del riesgo y de las relaciones causales) al modelo incierto del riesgo, del daño incalculable y de la posible relación causal entre uno y otro, en la medida en que se refiere a la existencia, en algunos de ellos, de un supuesto generalmente respaldado por cálculos estadísticos y probabilidades. Sin embargo, ambos modelos convergen en la prevención de un daño temido, que es el objetivo común (ROMEO CASABONA, 2007, p. 34).

El principio de precaución exige: (a) un contexto de incertidumbre científica, que impide la identificación y/o medición de los riesgos; y (b) la posibilidad de que esos riesgos inciertos supongan un daño grave, en el sentido de su repercusión, control y reversibilidad.

Es en ese punto donde se deben plantear nuevas cuestiones de bioseguridad, buscando determinar procedimientos que actúen en la prevención, eliminación o reducción de riesgos para la salud humana y el medio ambiente, así como el mantenimiento del equilibrio de los ecosistemas. La bioseguridad, con su pragmatismo, se legitima en la bioética.

Schramm (2010) afirmó que la bioseguridad sería un nuevo campo de la biotecnología, preocupado por la seguridad de los procedimientos científicos: “[...] la bioética analiza la moralidad de las biotecnologías y la bioseguridad calcula y pondera los riesgos inherentes a las biotecnologías desde el punto de vista de su seguridad” (SCHRAMM, 2010, p. 105).

Históricamente, la bioseguridad tuvo su origen en preocupaciones más localizadas, especialmente en la investigación genética,

pero con el tiempo ha ampliado su campo de acción y ahora se enfrenta a un nuevo reto: la gestión de los seres vivos, ante el contacto entre especies y sus enfermedades “originarias”.

Por eso, en su cuna, en 1975, en las reuniones de Asilomar (California), la bioseguridad estableció las directrices para la seguridad de los experimentos con ADN recombinante. Aunque la expresión “bioseguridad” no se utilizaba entonces, fue el documento de Asilomar el que lanzó las directrices básicas de bioseguridad en relación con la ingeniería genética, como: (a) trabajar con microorganismos fastidiosos, es decir, “exigentes” en cuanto a las condiciones de supervivencia y multiplicación, que no sobrevivirían fuera del laboratorio; b) clasificar los experimentos en función del nivel de contención requerido; c) abortar toda experimentación con carcinógenos conocidos; y d) no realizar experimentos con genes que produzcan toxinas o que determinen la resistencia a los antibióticos (BERG *et al.*, 1975).

Dichas directrices, denominadas por muchos principios, eran propuestas para la evaluación de riesgos en la investigación del ADN. Cabe destacar que se dirigían a una segmentación específica de la investigación, es decir, no se dirigían a toda la investigación con organismos vivos y menos aún a las intervenciones ambientales del ser humano o al seguimiento de las relaciones inter-especies.

En realidad, las reuniones de Asilomar no esbozaron principios de bioseguridad, al menos no como reglas sintéticas de actuación, que guíen o impongan conductas, del mismo modo que los principios de la bioética o los principios del Derecho Ambiental. A lo sumo, se podría decir que todas esas reuniones se derivan natural y explícitamente de los principios de prevención y precaución. No obstante, no se han erigido principios normativos específicos para la bioseguridad.

El uso común de la expresión “principios de bioseguridad” se ha orientado mucho más hacia la afirmación de lo que viene a ser su *punto de partida* que a expresar un *deber ser* de las ciencias hacia los riesgos biológicos. Incluso en ese sentido se expresan Cardoso *et al.* (2005, p. 161): “The basic principle of biosafety is risk control and risk management”.

La frase demuestra ese uso frecuente del término como premisa u objetivo de la bioseguridad, pero sin el carácter directivo que

puede orientar la toma de decisiones y ayudar a la solución de problemas concretos.

Aunque se centra en otros documentos internacionales o en normas estatales, hasta entonces no existía una preocupación normativa más amplia por la bioseguridad. Algunos principios normativos fueron propuestos por la literatura especializada, como es el caso del principio de contención, destinado a la gestión de los agentes infecciosos en el ambiente del laboratorio, y el principio de prohibición de la ingeniería genética en células germinales humanas y embriones humanos.

El principio de contención establece la obligación de reducir la exposición del personal y del ambiente inmediato del laboratorio (contención primaria) y la protección del ambiente fuera del laboratorio (contención secundaria).

El principio de prohibición de la ingeniería genética en células germinales y embriones humanos es una norma prohibitiva, cuyo objetivo es impedir la edición genética que pueda transmitirse directamente a los descendientes.

Aunque esos dos principios representan efectivamente preceptos normativos, aunque centrados en experimentaciones científicas específicas (agentes infecciosos y uso de la ingeniería genética), no se han establecido muchos principios de bioseguridad.

Así, como especificación del principio de precaución, ampliamente aceptado en todo el mundo, proponemos tanto la elaboración de nuevos principios generales como la relectura de algunos preceptos ya existentes, pero escasos y específicos para tratar determinados riesgos biológicos, para elevarlos a principios rectores de la bioseguridad, especialmente en lo que se refiere al objeto de este artículo. Son los siguientes:

a) Principio de introducción por etapas: este principio ya existe como guía para la introducción de organismos modificados genéticamente. No obstante, se entiende que ese precepto debe elevarse a principio general de bioseguridad, incluso para los organismos que no han sido sometidos a ningún procedimiento de ingeniería genética. Así, incluso los animales domesticados – como cabras, vacas, búfalos, caballos – deben insertarse gradualmente en nuevos ambientes, teniendo en cuenta los riesgos de la relación entre especies. La Directiva 2001/18/CE del Parlamento Europeo y del

Consejo de la Unión Europea, de 12 de marzo de 2001, sobre la liberación intencional en el medio ambiente de organismos modificados genéticamente (OMG), trae en su considerando 24:

la introducción de OGM en el medio ambiente debe llevarse a cabo según el principio de “por etapas”; de este modo, el confinamiento de los OGM se reducirá y el alcance de la liberación aumentará gradualmente, por etapas, pero sólo si la evaluación de las etapas anteriores, en términos de protección (sic) de la salud humana y del medio ambiente, señalar que se puede dar el siguiente paso (UNIÃO EUROPEIA, 2001).

Como principio general de bioseguridad, la “introducción por etapas” debe entenderse no sólo como la inserción gradual del organismo, sino también como la realización de estudios previos sobre los demás seres vivos con los que el nuevo organismo tendrá contacto, así como el seguimiento de la variabilidad genética de sus patógenos.

b) Principio para evitar el contacto innecesario entre organismos: debe evitarse toda mezcla de especies de diferentes hábitats sin justificación, especialmente cuando se trate de especímenes vivos.

El mercado de Wuhan, así como muchos otros repartidos por el mundo, con el comercio de especies vivas no debe permanecer. La contención absoluta de sus agentes patógenos es prácticamente imposible, por lo que el confinamiento de diferentes especies de animales en un mismo lugar, especialmente las que no suelen coexistir, conlleva un gran riesgo biológico.

c) Principio de preservación de los ecotonos: la legislación debe prever una protección medioambiental especial para los ecotonos, que, como ecosistemas de transición, son barreras naturales para el contacto entre especies de diferentes biomas.

Esa protección especial puede hacerse de varias maneras, como estableciendo franjas de protección permanente en los ecotonos, imponiendo licencias y estudios a las empresas que pretendan establecerse en ellos, y mediante incentivos fiscales para su mantenimiento y correcta gestión.

Hay una necesidad real y urgente de reflexionar, bioética y globalmente, sobre la bioseguridad aplicada a la ecoepidemiología de los agentes infecciosos.

CONSIDERACIONES FINALES

Ya no es posible pensar en la epidemiología desconectada de los factores sociales y ambientales. La urgencia del pensamiento complejo ha impuesto el enfoque a través de las cajas chinas, que demuestran la integración de multiniveles organizativos para pensar en una enfermedad.

La búsqueda de la génesis de una patología va más allá de las consideraciones moleculares y genéticas. COVID-19 es un ejemplo paradigmático de ese enfoque, ya que suscita planteamientos que integran el medio ambiente, el contacto entre especies y el comportamiento humano.

Así, la respuesta a la pandemia encuentra eco no sólo en la Medicina, sino en la bioética, como reflexión transdisciplinar sobre la acción humana sobre la vida, y en la bioseguridad, no sólo para reducir la transmisibilidad de la enfermedad, sino principalmente para actuar de forma preventiva. Para ello, se propone la imposición de nuevos principios generales de bioseguridad, capaces de hacer frente a los nuevos patógenos zoonóticos.

Los principios propuestos actúan para evitar el contacto entre especies, que puede estimular la selección de nuevas cepas capaces de migrar de una especie hospedera a los humanos.

El principio de introducción por etapas, que ya se conocía en la aplicación a los OGM, debería elevarse a principio general de bioseguridad, para abarcar la introducción de organismos que no hayan sido sometidos a ningún procedimiento de ingeniería genética e imponer el deber de realizar estudios previos sobre las demás especies con las que el nuevo organismo entrará en contacto, así como el seguimiento de la variabilidad genética de sus patógenos.

El principio de evitar el contacto innecesario entre organismos prescribe que debe evitarse el acercamiento de especies, especialmente las que proceden de hábitats diferentes, sin una causa justificada.

Por último, en lo que respecta al principio de preservación de los ecotonos, que son zonas de transición de los ecosistemas, éstos deberían recibir una protección medioambiental especial porque actúan como barreras naturales para el contacto entre especies de distintos biomas.

REFERENCIAS

- BASAVARAJU, S. V. *et al.* Serologic testing of U.S. blood donations to identify SARS-CoV-2-reactive antibodies: December 2019-January 2020. *Clinical Infectious Diseases*, 2020. Disponible en: <https://academic.oup.com/cid/advance-article/doi/10.1093/cid/ciaa1785/6012472>. Acceso: 30 de enero. 2021.
- BERG, P. *et al.* Summary statement of the Asilomar Conference on recombinant DNA molecules, *PNAS – Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 72, n. 6, p. 1981-1984, jun. 1975. Disponible en: <https://authors.library.caltech.edu/11971/1/BERpnas75.pdf>. Acceso: 15 de febrero. 2021.
- CARDOSO, T. A. O. *et al.* Memories of biosafety in Brazil: lessons to be learned. *Applied Biosafety*, v. 10, n. 3, p. 160-168, 2005.
- CHAVARRIA-MIRÓ, G. *et al.* Sentinel surveillance of SARS-CoV-2 in wastewater anticipates the occurrence of COVID-19 cases. *MedRxiv*, jun. 2020. Disponible en: <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.06.13.20129627v1>. Acceso: 30 de enero. 2021.
- CHEN, N. *et al.* Epidemiological and clinical characteristics of 99 cases of 2019 novel coronavirus pneumonia in Wuhan, China: a descriptive study. *The Lancet*, v. 395, p. 507-513, 2020. Disponible en: [https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736\(20\)30211-7/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736(20)30211-7/fulltext). Acceso: 30 de enero. 2021.
- GIBB, R. *et al.* Zoonotic host diversity increases in human-dominated ecosystems. *Nature*, v. 584, p. 398-402, aug. 2020. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/s41586-020-2562-8>. Acceso: 29 de enero. 2021.
- JOHNSON, K. C. *et al.* Spillover and pandemic properties of zoonotic viruses with high host plasticity. *Scientific Reports*, v. 5, n. 14830, 2015. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/srep14830>. Acceso: 29 de enero. 2021.
- KILPATRICK, A. M.; RANDOLPH, S. E. Drivers, dynamics, and control of emerging vector-borne zoonotic diseases. *The Lancet*, v. 380, p. 1946-1955, 2012. Disponible en: <https://www.thelancet.com/action/showPdf?pii=S0140-6736%2812%2961151-9>. Acceso: 27 de enero. 2021.

LAMBIN, E. F. *et al.* Pathogenic landscapes: interactions between land, people, disease vectors, and their animal hosts. *International Journal of Health Geographics*, v. 9, n. 54, p. 1-13, 2010. Disponível em: <https://ij-healthgeographics.biomedcentral.com/articles/10.1186/1476-072X-9-54>. Acesso: 27 de enero. 2021.

LU, R. *et al.* Genomic characterisation and epidemiology of 2019 novel coronavirus: implications for virus origins and receptor binding. *The Lancet*, v. 395, p. 565-574, 2020. Disponível em: [https://www.thelancet.com/article/S0140-6736\(20\)30251-8/fulltext](https://www.thelancet.com/article/S0140-6736(20)30251-8/fulltext). Acesso: 31 de enero. 2021.

MORIN, E. *A cabeça bem-feita: repensar a reforma, reformar o pensamento*. 8. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

MORIN, E. *O método 6: ética*. 3. ed. Porto Alegre: Sulina, 2007.

MORSE, S. S. *et al.* Prediction and prevention of the next pandemic zoonosis. *The Lancet*, v. 380, p. 1956-1965, 2012. Disponível em: <https://www.thelancet.com/action/showPdf?pii=S0140-6736%2812%2961684-5>. Acesso: 27 de enero. 2020.

NAVES, B. T. O.; REIS, É. V. B. *Bioética ambiental: premissas para o diálogo entre a ética, a bioética, o biodireito e o direito ambiental*. 2. ed. Rio de Janeiro: Lumen Juris, 2019.

POTTER, V. R. *Bioethics: bridge to the future*. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1971.

ROMEO CASABONA, C. M. O desenvolvimento do direito diante das biotecnologias. In: ROMEO CASABONA, C. M.; SÁ, M. F. F. (Coords.). *Desafios jurídicos da biotecnologia*. Belo Horizonte: Mandamentos, 2007. p. 29-64.

SCHRAMM, F. R. Bioética, biossegurança e a questão da interface no controle das práticas da biotecnociência: uma introdução. *Revista Redbioética/UNESCO*, ano 1, v. 1, n. 2, p. 99-110, 2010.

SUSSER, M.; SUSSER, E. Choosing a future for epidemiology: I. Eras and Paradigms. *American Journal of Public Health*, v. 86, n. 5, p. 668-673, may 1996a. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1380474/?page=1>. Acesso: 20 de febrero. 2021.

SUSSER, M.; SUSSER, E. Choosing a future for epidemiology: II. From Black Box to Chinese Boxes and Eco-Epidemiology. *American Journal of*

Public Health, v. 86, n. 5, p. 674-677, may 1996b. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1380475/>. Acceso: 20 de febrero. 2021.

TEIXEIRA, M. G.; COSTA, M. C. N. Vigilância epidemiológica: políticas, sistemas e serviços. In: GIOVANELLA, L. *et al.* (Orgs.). *Políticas e sistema de saúde no Brasil*. 2. ed. Rio de Janeiro: FIOCRUZ, 2012. p. 687-707.

UNIÃO EUROPEIA. *Directiva 2001/18/CE*, do Parlamento Europeu e do Conselho da União Europeia, de 12 de março de 2001. Relativa à libertação deliberada no ambiente de organismos geneticamente modificados e que revoga a Directiva 90/220/CEE do Conselho da União Europeia. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX:32001L0018>. Acceso: 15 de febrero. 2021.

WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. *WHO-convened global study of origins of SARS-CoV-2: China Part*. 10 fev. 2021. Disponible en: <https://www.who.int/publications/i/item/who-convened-global-study-of-origins-of-sars-cov-2-china-part>. Acceso: 22 de abril. 2021.

ZHOU, P. *et al.* A pneumonia outbreak associated with a new coronavirus of probable bat origin. *Nature*, v. 579, p. 270-273, jan. 2020. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/s41586-020-2012-7>. Acceso: 30 de enero. 2021.

Artículo recibido el: 01/03/2021.

Artículo aceptado el: 23/04/2021.

Cómo citar este artículo (ABNT):

REIS, E. V. B.; NAVES, B. T. O. Ecoepidemiologia y nuevos principios generales de bioseguridad: aspectos ambientales de la patogénesis de COVID-19. *Veredas do Direito*, Belo Horizonte, v. 18, n. 40, p. 369-394, jan./abr. 2021. Disponible en: <http://www.domhelder.edu.br/revista/index.php/veredas/article/view/2097>. Acceso: día de mes. año.