



C A P Í T U L O 1

INTRODUCCIÓN A LA ECOLOGÍA

Rafael Chávez-López

Asela del Carmen Rodríguez-Varela

Ángel Morán-Silva

DEFINICIÓN DE ECOLOGÍA

La palabra “ecología” fue utilizada por primera vez por Ernest Haeckel en 1869, sin embargo, él no definió a la ecología como un campo de conocimiento biológico; esta palabra tiene raíces derivadas del griego, como *oikos*, que significa ‘hogar’ y *logon* interpretado como “ciencia” o “tratado de”. Por lo tanto, la ecología podría considerarse como el estudio científico de la “vida en el hogar” de los organismos vivos.

En este escenario natural, el entorno de un organismo consta de todos los factores y fenómenos externos a un organismo que lo influyen, categorizados como físicos y químicos (abióticos) y otros producidos por las relaciones con otros organismos (bióticos), con ambos conjuntos de factores algún organismo o algunos organismos en cuestión mantienen interacciones, que en términos generales influyen en su sobrevivencia, reproducción y su capacidad para ampliar la superficie que pueden ocupar en el planeta.

En la historia de la ecología han ocurrido diferentes intentos para establecer un concepto que de manera concisa explique qué es y a que se dedica esta disciplina biológica.

Scheiner y Willig (2008), hacen una compilación de diferentes definiciones publicadas, de estas se puede extraer alguna explicación del objeto de estudio principal de la Ecología como una ciencia biológica (Tabla 1.1)

Tabla 1.1. Definiciones seleccionadas a partir de Scheiner y Willig (2008), para describir que es la ecología.

Autor	Definición
Odum (1971)	Estudio de la estructura y función de la naturaleza.
McNaughton y Wolf (1973)	Estudio científico de las relaciones entre los organismos y sus ambientes
Ricklefs (1979)	Estudio del ambiente natural, particularmente las interrelaciones entre organismos y sus entornos
Colinvaux, 1986	Estudio de los animales y plantas en relación a sus hábitos y hábitats
Ehrlich y Roughgarden(1987)	Estudio de la relación entre organismos y sus ambientes físico y biológico
Stiling (1992)	Estudio de las interacciones entre organismos y entre los organismos y sus ambientes
Dodson et al. (1998)	Estudio de las relaciones, distribución y abundancia de organismos, o grupos de organismos, en un ambiente
Krebs (2001)	Estudio científico de las interacciones que determinan la distribución y abundancia de los organismos
Begon et al. (2006)	Estudio científico de las interacciones entre organismos y su ambiente
Gurevitch et al. 2006	Estudio de las relaciones entre los organismos vivos y sus ambientes, las interacciones de organismos con otros, y los patrones y causas de la abundancia y distribución de los organismos en la naturaleza.
Scheiner y Willig (2008)	Estudio de los patrones espaciales y temporales de la distribución y abundancia de los organismos, incluyendo causas y consecuencias.

Con base en estas definiciones seleccionadas sobre la Ecología, porque hay muchas más, el desglose de los textos apunta que en la descripción de ecología es una generalidad que se observe como un **estudio**, percibido por la mayoría como **científico**, aunque algunos autores lo obvian por la connotación implícita de este campo de conocimientos con la Biología (Fig 1.1).

El segundo contexto común en las definiciones, es que la mayoría integran la palabra **interacciones** (aquí tomamos como sinónimos relaciones o interrelaciones) para indicar la asociación entre **organismos** (animales, plantas o ambos); aunque en algunos casos se menciona estudiar, patrones, la estructura natural o la naturaleza, como en el enfoque propuesto por Odum (1971) que parte de considerar a los ecosistemas como la unidad funcional de la naturaleza.



Fig 1.1. Nube de palabras generada con los textos de las definiciones consideradas por Scheiner y Willig (2008) en la Tabla 1.1.

En el tercer contexto se complementan varias de las definiciones integrando a otros dos objetos importantes de investigación: **la distribución y la abundancia de los organismos**, añadiendo **causas, consecuencias**, y las **fases espaciales y temporales** en las que ocurren los procesos ecológicos.

La definición de Krebs (2001), que retoma la propuesta de Andrewartha y Birch de 1954, surge como el punto de partida para definir el objeto principal de estudio de la ecología cuando agrega que las interacciones entre los organismos y el ambiente son el fundamento principal de las interrogantes ecológicas, son precisamente las que ocurren entre los organismos y los factores ambientales; esta definición tiene el mérito de señalar que el producto de estas relaciones es la materia de atención de la Ecología: **la distribución y la abundancia de los organismos**, es decir, dónde ocurren los organismos, cuántos se presentan en ese lugar y sobre todo porqué ocurren en ese lugar, tomando al escenario natural como el espacio donde se manifiestan estos procesos en diferentes escalas de tiempo

En esta definición se identifica claramente que el objeto de estudio de la ecología concierne a las causas naturales que provocan la distribución y los cambios en la abundancia de los organismos, pero en este momento es necesario ampliar su explicación, por ejemplo, Begon, Harper y Townsend (1986) apuntan que la utilidad y aplicación de los conocimientos ecológicos sirve para "...la **descripción, explicación** y **predicción** de los individuos y comunidades en el espacio y en el tiempo...", es decir, proponen que los saberes producidos anticipen lo que puede suceder en cualquier proceso ecológico, observando a la ecología como una disciplina científica que también tenga un carácter preventivo, sobre todo ante los conflictos generados por la humanidad cuando interfiere con sus actividades en el desarrollo de los procesos naturales.

Lo anterior abre otro punto de vista sobre la ecología y los campos de conocimiento que aquí llamaremos afines, como ejemplo Krebs (2008) excluye la influencia humana en el análisis de los eventos ecológicos, afirma que esto es más propio de "estudios ambientales", porque la ecología se ocupa de las interrelaciones de todos los organismos e incluye a la humanidad como especie preponderante por los impactos que produce, pero que, la ecología no se ocupa únicamente de los humanos.

Aún con la trascendencia de Charles J. Krebs en el devenir de la ecología actual, pasa por alto que la humanidad sigue siendo una especie animal que depende de los recursos de la Naturaleza, lo prueba fehacientemente la pasada pandemia COVID y las numerosas epidemias regionales y locales que siguen diezmando a poblaciones humanas, ciertamente los estudios de la influencia humana sobre el ambiente incorporan conocimientos de otras áreas científicas que ya participaban multidisciplinariamente para el análisis de los de los entornos físicos, químicos y biológicos de la Tierra, además, desde el ámbito del estudio de las sociedades humanas se han integrado saberes de áreas que parecían alejadas como la sociología, la economía, la antropología, las ciencias políticas y la filosofía, que le da a la ecología una potencialidad como disciplina científica integradora de conocimientos y con una capacidad de tratar por sí misma las relaciones complejas entre la Humanidad y el ambiente, aquí consideramos que es poco pertinente tratar los fenómenos ecológicos sin incluir la dimensión humana porque restringe a la ecología a enfoques descriptivos y analíticos propios de los naturalistas de los siglos pasados.

Como veremos al final de este CAPÍTULO se reconocen varios problemas que aquejan a la Humanidad en su totalidad y que no pueden ser abordados solamente desde un enfoque descriptivo porque el mundo actual requiere de esfuerzos interdisciplinarios para resolver cuestiones globales como el cambio climático y sus efectos, la contaminación en todas sus facetas, la pérdida de la Biodiversidad y el deterioro continuo de la condición del planeta.

¿CÓMO SURGE LA ECOLOGÍA?

Esta sección es una sinopsis de información seleccionada a partir de los escritos publicados por Frank N. Egerton y las referencias que cita, (Egerton, 2001a; Egerton, 2001b; Egerton, 2001c; Egerton, 2001d; Egerton, 2002a; Egerton, 2002b; Egerton, 2002c; Egerton, 2003; Egerton, 2005; Egerton, 2006; Egerton 2007a; Egerton, 2007b; Egerton, 2007^a; Egerton, 2009b; Egerton, 2009c; Egerton 2010a; Egerton 2010b; Egerton, 2011; Egerton, 2012; Egerton, 2013a; Egerton, 2013b; Egerton, 2014a; Egerton, 2014b; Egerton, 2014c; Egerton, 2015a; Egerton, 2015b; Egerton, 2015c; Egerton, 2016), complementados por lo escrito por Allaby (2010 y referencias citadas por **este** autor); para los interesados en la historia de la Ecología se sugiere la lectura de los escritos de Frank Egerton disponibles en el siguiente enlace: https://esapubs.org/bulletin/current/history_links_list.htm.

EL ORIGEN

Como parte del corpus de conocimientos de las ciencias biológicas, la Ecología identifica sus inicios en la Historia natural, considerando las formas como nuestros ancestros acumularon experiencias, conocimientos y aprendizajes sobre los procesos naturales de los que dependió su existencia.

En este momento es apropiado preguntarnos cómo fue que la humanidad ancestral, en esos tiempos nómadas, aprendió a distinguir a las presas que le servían de alimento, cuáles eran las estrategias más adecuadas que debían realizar para obtenerlas, cómo aprendieron a discriminar a las plantas y los animales que servían de alimento y cuáles no, cómo se logró definir a los momentos adecuados para su colecta y consumo, discriminando los sitios de pesca, caza por las especies que podían estar presentes; por sencillo que parezca en el tiempo actual, estos procesos demandaban un conocimiento preciso sobre el manejo de estos recursos.

Por supuesto, que la acumulación de este conocimiento empírico derivó en la sedentarización acompañada de la domesticación de plantas y animales, este es un buen ejemplo de la aplicación práctica de los procesos ecológicos, que fue un fundamento que permitió el asentamiento y esplendor de diferentes civilizaciones en los pasados 10,000 años.

La ecología como una ciencia es joven y su historia no es bien conocida, sobre esta hay diferentes versiones que intentan describir sus orígenes y su desarrollo en el tiempo, así como el de sus diferentes conceptos básicos.

De las realidades de la Ecología es que como ciencia se organiza alrededor de ciertos conceptos y perspectivas, considerando su carácter multidisciplinario y transdisciplinario, muchos ecólogos se han abrigado en campos “especializados”, por ejemplo, se habla de ecología marina, limnología, ecología vegetal o animal; los expertos en estas áreas escriben textos de estas especialidades y para su enseñanza.

Entonces, ¿Cuándo inicia la historia de la ecología? los textos antiguos que ahora nos parecen irrelevantes señalan que la ecología empieza su historia con los escritos del siglo XIX, con esta visión cualquier evento anterior resulta innecesario; pero tan solo el concepto del “*Balance de la Naturaleza*” se postuló hace un par de milenios, fue el primer concepto temprano con una noción ecológica y ha permanecido como una idea ecológica fundamental hasta nuestros tiempos.

LAS APORTACIONES DE LOS GRIEGOS

La ciencia es un producto del pensamiento crítico, y en el pensamiento crítico de los primeros griegos se incluyeron ideas que se pueden considerar en el contexto de la Ecología, siguiendo un camino entre la transición del pensamiento basado en las creencias míticas hacia el pensamiento crítico basado en las evidencias del mundo natural; por ejemplo, Tales (c. 460–c. 547 AC) creyó que todas las cosas provenían del agua, en su tiempo creían que todas las cosas tenían alma, Tales, se enfocó en la sustancia como la manera de explicar el cambio, digamos si el agua puede cambiar a hielo y aire (*pneuma*) entonces bajo ciertas circunstancias puede cambiar en un árbol (aplicando agua a una semilla) o en una roca.

Anaximandro fue un contemporáneo de Tales, estuvo en desacuerdo, proponiendo que el agua era solo uno entre un par de “opuestos”, en contraste a Tales, se enfocó en el proceso, propuso que la vida vino del mar y que los humanos evolucionaron de algunas especies que maduraron más rápidamente que los propios humanos.

Después que los filósofos milesianos iniciaron sus debates, Pitágoras (c. 560–480 AC), inició la enseñanza de la filosofía natural que se enfocó sobre las cantidades y los patrones más que en la sustancia y los procesos. Creyó que ocurrían armonías numéricas en la Naturaleza y que las matemáticas son la clave para encontrarlas.

A Hipócrates el padre de la Medicina, se le consignan más de 50 trabajos médicos (el Corpus Hipocrático) en escritos breves entre 350 a 250 AC, en sus trabajos “*Aires, Aguas y Lugares*”, plantea una meta ecológica al correlacionar las condiciones cambiantes del clima con las enfermedades que ocurrían en una comunidad.

En la filosofía natural que se desarrolló con los griegos influyó la historia, Heródoto (reconocido como el Padre de la Historia y que murió por 425 AC) escribió narraciones compiladas en sus viajes por Egipto, Fenicia y los mares Mediterráneo, Negro y Egeo. Su interés en las plantas fue notable e incluyó reportes sobre la polinización de palmeras e higueras; en sus obras incluyó reportes de animales salvajes. En Egipto, describió la experiencia de los desbordamientos del Río Nilo, este hecho lo refiere más como un acto bondadoso de los dioses que como un proceso ecológico.

También relató las relaciones comensales entre el cocodrilo del Nilo (que en su tiempo era el animal más grande que se conocía) y la garza *Hoplopterus armatus* que le limpia el hocico de sanguijuelas. Heródoto aporta evidencias para el concepto del balance natural, indicó que la sabiduría de las deidades determinaba las características de las especies, combinando a las prolíficas y de carácter tímido cuyo destino era ser las presas de otros animales, en contraste pocos jóvenes nacen de criaturas crueles y dañinas.

Tomó como ejemplo a las leonas, según escribió, aunque son fuertes solo tienen una cría una vez en su vida, porque cuando el cachorro crece en el útero sus garras lo rasgan más cuando rasca y llora, por esto después del parto sería difícil que el útero quedase íntegro.

Otras explicaciones basadas en mitos las ofreció para las serpientes de Arabia, primero las presentó como verdaderas limitantes para la vida de los hombres, explicaba que sus hábitos reproductivos tendían a ser punitivos y en esto resultaba en algún castigo, señalando que cuando se apareaban la hembra se enrolla al cuello del macho hasta que le muerde y lo mata, la hembra es castigada por la muerte del macho, pues las crías jóvenes vengan a su padre, mordiéndole mientras están en ella y no la sueltan hasta que la han devorado.

Protágoras de Abdera (485 – 411 AC) fue un sofista que probablemente no tomó tan en serio a los mitos, pues nombra un Diálogo que se consigna con el nombre de Platón, en el que este narra un mito sobre la creación: “El dios Epimeteo diseñó todas las especies de animales: *Él le puso fuerza sin velocidad a algunos, mientras al débil lo equipó con velocidad, a algunos los armó, mientras para otros los concibió, en una condición desarmada, como una facultad diferente para la preservación*”.

El punto principal del mito es que cuando Epimeteo finalizó su tarea, olvidó dejar cualquier ventaja física a los humanos, por lo que su hermano Prometeo aportó la inteligencia en los humanos; si bien las creaciones de Epimeteo son generalizaciones míticas del Balance Natural que propuso Heródoto, tanto él como Platón contribuyeron a la llamada “Ecología Providencial”: Dios o los Dioses, crearon a las especies con características permanentes tales que cualquier especie no se puede extinguir de alguna manera.

La participación de Aristóteles en la Ecología inicia cuando Filipo II conquistó a los estados griegos, dejó Atenas en 347 AC para servir al rey macedonio en Assos, ciudad situada en la costa de Asia Menor, al mismo tiempo visitaba Mitilene en la isla de Lesbos, donde trató a Teofrasto (c.371–c.287 AC) quién tiempo después se unió a su grupo. Luego, la historia señala que ambos regresaron a Pella, donde los relatos señalan que Aristóteles se convirtió en mentor de Alejandro, hijo del rey Filipo que fue asesinado en 336 AC.

Alejandro tomó las riendas del imperio, asumiendo que en Atenas se gestó el asesinato de Filipo se dispuso a escarmentar a esta ciudad-estado, pero se presume que Aristóteles intervino para evitar esta acción, convenciéndolo que Atenas era más provechosa para su imperio si florecía, Aristóteles le ofreció abrir su propia escuela: el **LICEO**, en la cual se podían formar los administradores del imperio y a la vez le permitirían mantenerse informado de los devaneos políticos que los atenienses podían gestar en su contra.

Aristóteles fue director del Liceo hasta 323 AC, año en el que Alejandro murió, por eso salió de Atenas bajo la sospecha de ser un espía macedonio.

Teofrasto sucede a Aristóteles, encabezó el Liceo durante 36 años, se ha creído que varios tratados atribuidos a Aristóteles son obras escritas por Teofrasto, aún con esta duda no pueden negarse sus contribuciones al campo natural, ya que mucha de la información conocida sobre la biología marina provenía de Lesbos, isla donde vivió por algunos años.

Así, los tratados biológicos del Liceo se atribuyen a Aristóteles y los de Botánica a Teofrasto, además de la participación de un número desconocido de sus escolapios. Se reconoce que los tratados tienen la misma estructura, estilo y apariencia, contienen una Historia y también tratos causales, como "La Generación de los Animales", "Partes de los Animales" y otros, además "*De Causis Plantarum*" para las plantas.

En los tratados zoológicos se discuten más de 500 especies de animales y en los botánicos más de 500 especies de plantas, lo que constituye un compendio de saberes muy amplios para su tiempo.

En la zoología y la botánica, más que hacer tratamientos especie por especie, se presentan comparaciones por grupos de especies de acuerdo a su anatomía, fisiología, reproducción y hábitos. Abundaban las observaciones ecológicas, pero el Corpus Aristotélico-Teofrastiano desarrolló el concepto de la teleología fisiológica para reemplazar la ecología providencial de Heródoto y Platón.

Por ejemplo, explican que las tasas reproductivas de las especies presa son más altas que las de las especies de depredadores debido a que fueron diseñadas de una forma tal que los propios depredadores previnieran la extinción de sus presas, en el Liceo se explicaron las tasas reproductivas como una función de las necesidades fisiológicas del depredador. Otro caso es que un ratón puede producir más jóvenes por preña que un elefante, debido a que la cantidad de materia para organizarse en un ratón es poca comparada a la que se necesita la formación de un embrión de elefante.

En el Liceo se asumió que los fenómenos naturales tenían propósitos, en "Partes de Animales" se describen numerosas explicaciones al respecto, afirmando que los conejos producen conejos no gatos o ratas y todos los órganos tienen funciones definidas, por ejemplo, los ojos para ver lo que se come, los dientes para morder la comida y el estómago para digerirla. La relevancia ecológica de la explicación teleológica se observa cuando se establecen las diferencias entre aves:

“La misma ave nunca posee espolones y garras y la razón es que la Naturaleza no hace nada que sea superfluo e innecesario. Los espolones están sin ningún uso para un pájaro que tiene garras y puede volar bien; los espolones son útiles para las peleas en el suelo y ese es el por qué algunas aves pesadas las tienen, mientras que los garras no les serían inútiles, pero sí serían una desventaja real...” De manera similar, los ciervos no tienen dientes incisivos superiores porque tienen astas.

La historia de Heródoto sobre la reproducción de las leonas fue rechazada explícitamente en la *Historia Animallum*, el mito que las leonas pierden el útero durante el parto es un sin sentido y parece que se hizo más para explicar la escasez de leones, los cuales “no son encontrados en muchos lugares de toda Europa, solamente ocurre en el territorio del país que se encuentra entre los ríos Aqueloo y Nessos”.

Describen que los dientes de los caballos se usaron para establecer su edad, considerando que los dientes se pulían más desde las mejillas hasta el inicio de la mandíbula, así estimaron que un caballo vivía hasta 75 años y una mula hasta los 80 años; los cazadores determinaban la edad de los ciervos por sus cornamentas; las puntas aparecían en el segundo año, luego se bifurcaban cuando aparecían al tercer año, se trifurcaban al cuarto año y así hasta el sexto año, después de eso la edad se estimaba por el número y apariencia de los dientes

En esta obra las plagas animales fueron descritas como espectáculos sorprendentes además de una amenaza seria a la sobrevivencia y el abasto de alimentos. Cuando una plaga de ratones o topos atacaban los cultivos, dejaban poco alimento para los granjeros a pesar de que intentaran erradicarlos. Establecen que el único control para estas poblaciones es: “la lluvia es la única cosa que controla sus ataques - entonces ellos desaparecen con rapidez”.

En “*Indagatoria de la Plantas*” y “*De Causis Plantarum*”, se asumió que las plantas conducían su alimentación desde el suelo, el agua y los vientos; aprendieron en Mesopotamia que el polvo de las flores de las palmas datileras masculinas debía sacudirse sobre las flores femeninas para que el fruto se desarrollara. Las suposiciones griegas acerca de la presencia de sexos en otras especies de árboles se basaron en el hecho que los árboles hembras presentaban flores y frutos y los árboles machos no.

El Liceo también describió que los frutos de la higuera no crecían a menos que estuvieran presentes algunos insectos pequeños y que el muérdago y el viscum crecen sobre otras plantas, lo cual se comparó con la situación de la pinna y su cangrejo blanco y el parasitismo del cuco en los nidos de otras aves.

Otras discusiones de contenido ecológico incluyeron la distribución de las especies refiriéndolas al hábitat y al rango geográfico particulares. Algunas especies acuáticas se encontraron en los mares, otras en lagos y corrientes de agua. Algunas especies terrestres crecían en los pantanos, otras en suelos rocosos, algunas en las sombras y otras en el campo abierto, montañas y praderas.

Uno de los más importantes trabajos médicos de la antigüedad fue la farmacopea del médico griego Pedanio Dioscorides (entre 60-70 DC), que trascendió hasta la edad Media y en el Renacimiento, hacia el campo de la ecología este libro no tiene una influencia directa, pero narra como el uso medicinal de las plantas, se organizó alrededor de las especies vegetales, de las cuales mencionó aproximadamente 537 especies acomodadas en 12 categorías de información, entre otras: (1) nombre e ilustración, (2) hábitats, (3) descripción botánica, y (12) localidades geográficas, este fue el primer escrito organizado en una base especie por especie, importante tanto para la farmacia como para la botánica, dando importancia a la determinación particular de las especies, a un nivel tal que los médicos de épocas posteriores se preocuparon más por la identificación de las especies y su distribución geográfica, porque confiaban que las recetas se preparaban mejor y eran más efectivas si se usaban las plantas tomadas de sus lugares de origen.

Como resultado de las observaciones de actividades de esparcimiento, como la pesca de entretenimiento permitió que Opiano de Cilicia, por 170 DC, escribiera la "Halieutika" donde aporta mucha información sobre los hábitos, hábitat, crianza, alimentación y relaciones parasitarias de peces e invertebrados acuáticos; un homónimo suyo, Opiano de Apamea escribió una versión corta de "Cynegetika", se interesó en las relaciones entre especies de vertebrados como la depredación y el mutualismo; además de la conducta de los mamíferos grandes durante la crianza.

LA HISTORIA NATURAL ROMANA

La historia natural Romana fue el producto de la transferencia de los conocimientos desde la cultura griega. La conquista gradual de los estados griegos y sus imperios (entre 200 a 30 AC), más que interrumpir a la ciencia griega, le permitió expandir su influencia en el mundo occidental como ha sucedido hasta nuestros días.

De esos tiempos sobrevivieron cinco tratados romanos sobre agricultura, en su información presentaron observaciones sobre la influencia de los factores ambientales como la fertilidad del suelo, las plagas en los cultivos, la humedad y sobre parásitos animales en animales y plantas domesticadas.

LA HISTORIA NATURAL BIZANTINA

El Emperador Constantino I se encargó de transformar al antiguo imperio Romano, haciendo del catolicismo la religión hegemónica en una extensión tan vasta que dificulta su gobierno desde un solo lugar; por eso constituyó el Imperio en Bizancio y su nueva capital fue Constantinopla.

Los bizantinos tuvieron una civilización que combinó a las culturas griegas, romanas y cristianas antiguas; los componentes romanos y cristianos negaron la ciencia, lo que explica la debilidad de sus contribuciones respecto a las de los antiguos griegos y como un preámbulo al Oscurantismo que predominó en la Edad Media.

Durante los años 500 de nuestra era existieron tres centros culturales del imperio bizantino: Atenas, Alejandría y Constantinopla, cuando los árabes toman Alejandría en 642 DC, esta ciudad y Atenas declinaron su significancia académica, mientras que en Constantinopla se privilegió el aprendizaje de la Teología por encima de la filosofía y la ciencia, pero la educación médica se realizaba en los hospitales, hecho que se sigue prodigando en nuestros días.

De las contribuciones bizantinas a la ciencia se incluyen la botánica y la zoología; pero también ensamblaron los compendios del conocimiento antiguo de la Medicina, Farmacopea y Agricultura, además de algunos manuales de medicina veterinaria y cetrería.

La contribución más importante de la cultura bizantina fue la preservación de los escritos griegos antiguos que se lograron transmitir tanto a los árabes como posteriormente a los europeos latino-hablantes. Los bizantinos también sintetizaron el conocimiento pagano y cristiano, Basilio (c. 329–379), obispo de Cesárea en Capadocia, escribió un trabajo “Sobre el Hexameron” que intentó reconciliar el conocimiento pagano con la historia del Génesis sobre la creación del mundo en seis días; Basilio rechazó la idea de Platón de que Dios le dio forma al mundo con materia pre-existente y la de Aristóteles de que el universo es eterno sin principio y sin fin, con la única razón de que ambas contradicen el Génesis, este ejercicio más teológico que científico propuso que el estudio de la naturaleza debía contribuir a complementar los detalles omitidos en el libro bíblico del Génesis.

La botánica como ciencia fue desdeñada, pero los usos de la farmacopea se apreciaron en mayor medida; por supuesto que este tópico no se relaciona a las ciencias ecológicas, pero un código de la obra de Dioscórides, “Materia Medica” se presentó a la princesa Anicia Juliana en 512 DC, este código presentaba 498 ilustraciones de plantas, además de otras ilustraciones de animales, se considera que esta obra constituyó el puente que generó la tradición medioeval de la ilustración de animales y plantas.

Timoteo de Gaza (c.491–518) fue un poeta y zoólogo que escribió un libro popular de animales, donde compila las historias de Aeliano y los dos Opianos; aludiendo con frecuencia la “Historia Animalum” de Aristóteles.

Aunque podría decirse que Timoteo tuvo un interés ecológico, este estuvo provisto de mitos, escribió que las hienas podían aparearse con lobos y osos, produciendo lobos solitarios que depredaban a los hombres y a los animales y que también eran ladrones de tumbas. Estos lobos solitarios vomitaban su comida para atraer perros y atraparlos; además afirmó que la bilis de las hienas mejoraba la visión.

En las enciclopedias de agricultura y medicina veterinaria compiladas por Constantino VII a mediados de 900 DC, se discutieron parásitos de plantas y animales. Durante el año 900 un autor desconocido escribió en “Epitome” sobre la Zoología de Aristóteles, los bizantinos también manifestaron su interés en las actividades de cacería y pesca, sobre todo en sus contribuciones a la cetrería, que ellos denominaron como “el deporte de los reyes”.

Conforme los turcos avanzaron sobre Europa a principios del siglo XV, los griegos con educación y posibilidades económicas migraron hacia Italia, una habilidad de estos migrantes radicó en su habilidad para traducir los textos griegos al latín con menos errores que los textos que ya se producían en Arabia; un ejemplo fue Theodoros Gazes (c. 1400–1476) quien tradujo numerosas obras del griego, incluida la “De causis plantarum”, las ediciones posteriores fueron enriquecidas con ilustraciones y anotaciones hechas por botánicos como corrección a la traducción original de Gazes, quien desconocía esta disciplina. El legado principal del imperio bizantino en la historia natural fue la conservación de la información disponible en su momento, que sin duda permitió un avance más ágil de las ciencias ecológicas en los siguientes siglos.

LOS ÁRABES

La civilización árabe fue una síntesis de las culturas árabe primitiva, la bizantina y la persa, destacaron los alcances en matemáticas, astronomía, alquimia, física y geografía. Casi todas las investigaciones árabes negaron la zoología y a veces la botánica; entonces la zoología se diseminó por las historias de animales, pero también se conocieron hechos en la medicina, la veterinaria, la cacería y el control de plagas.

En sus tradiciones indígenas los árabes carecieron de alguna ciencia, pero desde los movimientos de expansión de Mahoma se procuró aprender de los pueblos conquistados, en un siglo, el imperio se hizo vasto desde el Atlántico a través del norte de África, Siria, Mesopotamia, Persia y el Indostán.

Las instituciones superiores de educación llamadas madrasas, procuraron la educación religiosa más que la científica, sin embargo, siguiendo el ejemplo bizantino, la medicina se enseñaba en hospitales.

Desde Basora, ahora en Irak, surgieron dos escritores que produjeron trabajos sobre animales salvajes, caballos, camellos y ovejas: Abd al-Malik al-Asma’i, (c. 739–c. 831) que a su vez influyó en un contemporáneo más joven y famoso Abu ‘Uthman ‘Amr ibn Bahr (Al-Jahiz) (c. 776–869), quien siguió la tradición de Aelianus y Timoteo, se sabe que tuvo acceso a la Historia Animalium de Aristóteles concluyendo su paráfrasis por el año 815, escribió alrededor de 350 historias sobre animales con observaciones originales.

Se considera que Al-Jahiz emitió algunos juicios evolucionistas, porque fue el primero que afirmó sobre “el efecto de los factores ambientales sobre la vida animal”, se reconoce que Al-Jahiz discutió sobre las cadenas alimenticias, aunque sin muchos detalles; también señaló que los mosquitos buscan su comida por instinto y que la sangre es la sustancia que los mantenía vivos, aunque proponía que las moscas cazaban a los mosquitos, lo válido de su afirmación radicó en señalar que la vida de los animales no puede transcurrir sin alimento. La trascendencia de Al-Jahiz fue altamente popular al grado que influyó en escritores posteriores.

Abd al-Latif (1162–1231) nació en Bagdad y fue un médico notable, vivió en el Cairo (1191–1204) y colectó información propia sobre los cocodrilos del Nilo y de diferentes lagartijas, señaló que los huevos de cocodrilo eclosionaban ya sea en cocodrilos o mofetas dependiendo si el nido se colocaba en el agua o en la arena esta creencia se volvió parte de la cultura natural tradicional.

Otro naturalista fue Ibn Qutayba (828-884/889) que escribió ampliamente sobre animales, plantas y rocas, sus documentos también están plagados de creencias populares como: los caballos no tienen bazo, los camellos no tienen bilis y los avestruces machos no tienen médula en sus huesos; las jirafas se producen a partir de cruza entre camellos hembras y hienas machos, y los machos de ese apareamiento se aparean, a su vez, con vacas salvajes. Parte de su información parece estar basada en la observación, pero a menudo va acompañada de generalizaciones poco atinadas.

La botánica y la geografía fueron más prominentes en la ciencia medieval del idioma árabe que la zoología, sin embargo, la botánica fue estudiada principalmente en relación con las plantas utilizadas para medicinas y alimentos. La civilización islámica era geográficamente mucho más grande que las civilizaciones anteriores de Grecia, Roma y Bizancio, y su interés en la geografía también era proporcionalmente mayor.

Estudios de la botánica medieval en lengua árabe indican la extensa literatura disponible no dejó de manifestar la influencia de griega en la organización como en el contenido de estas obras, pero los eruditos para ampliar su conocimiento también se basaron en obras del norte de África, Mesopotamia, Persia, India y otras regiones de Asia.

Los estudiosos estaban muy preocupados por la identificación adecuada de las plantas utilizadas en la preparación de medicamentos y poco preocupados de que los medicamentos fueran realmente efectivos. Debido a que la civilización islámica absorbió el conocimiento botánico y médico de prácticamente todas las regiones, había una necesidad urgente de un Linneo en botánica. Por ejemplo, al-Kindi (c.800-870) escribió un formulario médico “*Aqrabadhin*”, en el que los nombres farmacológicos (incluidos los nombres de plantas) eran 33% mesopotámicos (transmitidos a través del siríaco, arameo, hebreo y persa), 23% griegos, 18% persas, 13% indios, 5% árabes y 3% egipcios, y el resto de origen desconocido.

Para satisfacer esta necesidad botánica, Abu Hanifa al-Dinawari (m. 895), de Dinawar, Irak, escribió su obra más importante "*Kitab alnabat*" (Libro de las plantas), a partir de la investigación literaria y oral, en esta, presenta un listado organizado de nombres de plantas y analiza varias plantas, sus usos e importancia ambiental. Por ejemplo, ciertas plantas enferman a los camellos y las ovejas si las comen en abundancia, también explica porque las plagas de langostas son tan destructivas para la vegetación y explica que las abejas melíferas se alimentan de flores, citando la información de la "*Historia Animallum*" de Aristóteles.

En los siguientes siglos se enfatizó la escritura sobre temas principalmente de teología, agricultura y geografía, se considera que los primeros sirvieron de base para la agronomía que se desarrolló en los territorios conquistados de la península ibérica; el otro gran tema fue la geografía, de la que se escribieron infinitos tomos; prácticamente otros conocimientos sobre la Naturaleza y la ecología ya no sucedieron.

La declinación de la ciencia árabe coincidió con la contracción de sus territorios, retomados por los cristianos en Europa y luego por las presiones de los mongoles desde Asia. En España, con la reconquista de Andalucía en 1031 inició el decaimiento del Califato que concluyó en 1492. La herencia naturalista árabe fue tan difusa que no se identifican elementos que sustenten la fundación de la ciencia ecológica, sin embargo, los alcances de la historia natural latina son una herencia de la cultura árabe.

LOS MURMULLOS ECOLÓGICOS DE LOS SIGLOS XVII, XVIII Y XIX

En el siglo XVII aparece el marco de referencia de los inicios de la Ecología como ciencia, John Graunt en 1662 realizó las primeras descripciones cuantitativas de las poblaciones humanas en Inglaterra, calculó medidas como la natalidad, mortalidad, proporciones entre sexos, estableciendo la importancia de definir la estructura de las poblaciones, además realizó una aproximación al crecimiento poblacional en Londres concluyendo que sin procesos de inmigración la población londinense se duplicaría en 64 años, por estos aportes se le considera como el fundador de la Demografía.

Sir Matthew Hale, coetáneo de Graunt, agregó otras causas que pueden influir en el crecimiento poblacional humano, además escribió sobre el crecimiento y la regulación poblacional de otros organismos como gatos, perros, lobos y zorros, diferenciando los procesos de las aves domésticas respecto a las silvestres, asumió que estas últimas son más afectadas por las inclemencias ambientales

Los peces fueron los motivadores principales del pensamiento demográfico de Hale ya que señala: "...sus incrementos parecen ser mucho más grandes que los del Hombre o las bestias..."

Si bien influido por las ideas aristotélicas, Hale discutió cinco factores limitantes: 1) los huevos no fertilizados por los machos son infructuosos y otros peces se comen los huevos, 2) las personas comen peces, 3) también lo hacen otros peces depredadores, 4) además las aves de presa, 5) las temperaturas frías extremas matan a los peces de los estanques por que se congelan o “por la exclusión del aire del ambiente” y los grandes calores y sequías también matan a los peces en lagos, estanques y ríos. Un aporte destacado de Hale, es que, si bien acepta el balance de la Naturaleza como un hecho, argumenta que este balance no influye de la misma manera para las personas.

Otro personaje destacado en la Historia de la Ecología fue Anton van Leewenhoek, quien, si bien es más reconocido por sus aportes a la microscopía desde 1673, sin duda aporta hechos sobre procesos ecológicos sobresalientes para su tiempo.

Leeuwenhoek también quiso conocer el tamaño y la cantidad de los organismos que estudiaba y para el caso de algunos, también establecer su edad, él fue el primero en explicar el uso de los anillos anuales para determinar la edad de árboles, expandiendo esta aproximación con escamas de peces y colmillos de elefantes.

Estudió la reproducción en una mosca, probablemente *Calliphora erythrocephala*, que pone cerca de 144 huevos. Hizo el seguimiento de la puesta de huevos hasta los estadios de pupas y adultos, a partir de los números que registró, calculó la tasa teórica de incremento para un lapso de tres meses asumiendo que, en ausencia de mortalidad, resultarían en 746,496 moscas. Este fue un paso importante para la demografía animal y el primer ejemplo de lo que mucho después los ecólogos poblacionales llamarían potencial biótico y otros como “tasa intrínseca de incremento natural de una población”.

Leewenhoek hizo otros intentos de calcular las tasas teóricas del incremento en la abundancia de las especies animales, por ejemplo, en escarabajos de los granos, moscas carroñeras y piojos, sugiriendo que las tasas de incremento potencial en las poblaciones de otros organismos pueden ser limitadas por el clima y el alimento; también planteó la idea de las cadenas alimenticias en las que participaban peces y camarones.

Para el siglo XVIII, la historia natural se volvió una ocupación cultural importante en las clases acomodadas de Europa, un ejemplo fue Georges-Louis Leclerc, Conde de Buffon (1707–1788) quien escribió en 1756 su “Histoire Naturelle”, en su tiempo Buffon creó polémicas fuertes al omitir la edad de la Tierra asignada por la religión católica, además de proponer la participación de una teoría primitiva sobre la relación gen-cromosoma, en sus tiempos esta propuesta fue desafiante a las explicaciones vigentes sobre la herencia.

En el contexto ecológico, contribuyó a explicar la fertilidad de las especies, considerando la explicación ecológica de Herodoto y Platón, la cual asume que las especies de depredadores fueron creadas con menos habilidades para la reproducción respecto a su presa y por eso no serían capaces de comerse a todas; y la explicación de la necesidad fisiológica de Aristóteles que propone que las especies grandes generan menor progenie que las de talla pequeña debido a que les lleva más tiempo organizar un embrión grande que uno pequeño.

Acérrimo rival científico de Linnaeus, este último reconoció que ninguna propuesta explicaba todos los hechos aun usando ambos principios. Por su parte, Buffon enfatizó en el principio de la necesidad fisiológica: “En general los animales grandes son menos prolíficos que los pequeños.” Una consecuencia de este principio fue: “Los animales que producen solo un nacimiento casi alcanzan su crecimiento completo antes de que ellos se ajusten para la generación. Pero aquellos que producen muchos, generan antes que estén en su tamaño a la mitad”. Él pensó que los animales salvajes criaban en primavera debido a que en el invierno carecen de suficientes alimentos para producir moléculas orgánicas para la reproducción.

Buffon no analizó a las poblaciones animales matemáticamente, sin embargo, discutió las fluctuaciones de las poblaciones animales varias veces bajo la premisa de la multiplicación rápida, sus explicaciones estuvieron inscritas en las necesidades fisiológicas, considerando con menos importancia a los factores ecológicos, tomó como caso las plagas, explicó que los aumentos rápidos de los organismos eran seguidos por la destrucción de los individuos, lo que guiaba a la restauración de los números usuales de las especies.

Consideró que varios factores participaban en esta disminución de la abundancia, como la acción de los depredadores y el consumo humano, proponiendo pautas para establecer las propuestas de regulación poblacional que se emitieron hasta el siglo XX.

Linnaeus, revisado alejado de la sistemática

La gran importancia de Linnaeus (1707–1778) para la historia de la Ecología, tiene que ver con sus discusiones sobre los números de animales, en su obra de 1744, “*Oratio de Telluris habitabilis incremento*” explicó cómo las plantas y los animales pudieron extenderse desde el Jardín del Edén hacia el resto del mundo, postulando que la pareja original de cada especie y uno de cada especie hermafrodita incrementaron sus números en cada generación, apoyó sus argumentos con base en los números grandes de semillas presentes en flores como *Helenium* (3,000), *Zea* (2,000), *Helianthus* (4,000), *Papaver* (3,200) y *Nicotina* (40,320), con estos datos Linnaeus sugirió que “una planta sencilla, si fuese preservada de animales u otros accidentes podría cubrir la superficie del globo”.

Linnaeus también usó las dos explicaciones bogantes en su tiempo para explicar los potenciales reproductivos diferentes de las especies animales en la "*Oeconomia Naturae*" (1749). Señaló, considerando la necesidad fisiológica, que "los ácaros y muchos otros insectos se multiplicarán por miles en un lapso de pocos días. Mientras que el elefante produce escasamente un joven en dos años" en tanto "una clase de halcón no pone más de dos huevos, cuando mucho cuatro, mientras que una gallina llegaría a 50".

También se impresionó con otro principio, que ahora llamamos de diversidad ecológica, propuso sobre este principio que la Naturaleza aseguraba que algunas especies no exterminaran a otras "si de los muchos miles de especies de vegetales que crecen juntos en uno y el mismo lugar, algunas podrían infaliblemente predominar sobre otras y extirparlas," y "Cada planta tiene su propio insecto alojado que restringe su exuberancia, que le impide multiplicarse para la exclusión de otras"

El principio también se aplicó a las relaciones entre las especies de animales "el más débil generalmente está infestado por el más fuerte en una serie continua", y "nosotros conocemos escasamente a un animal, que no tenga a un enemigo que lo contienda". En "*Politia Naturae*" enfatizó que la depredación y la función de una especie en la Naturaleza como el factor principal que regula las poblaciones. En el caso de los humanos, "los desórdenes contagiosos y la guerra también ayudan a controlar las poblaciones".

Thomas Malthus y el modelaje matemático incipiente para explicar procesos ecológicos poblacionales

Thomas Robert Malthus (1766–1834) se encontró entre una educación liberal influida por los pensadores de la Revolución francesa y la conservadora típica de la Sociedad Inglesa, su libro más famoso, "*An Essay on the Principle of Population*", fue un argumento influyente contra las instituciones religiosas y estatales de su tiempo ya que apoyaban a la pobreza sin una provisión de espacios de trabajo, se asume que Malthus compartió ampliamente la preocupación de Wallace acerca que el crecimiento poblacional se podría convertir en un problema difícil, en coincidencia, en sus tiempos ocurrió un crecimiento rápido de la población inglesa.

A pesar que esta idea no era nueva, Malthus logró mayor atención de los círculos de estudiosos de su tiempo, señalando que las poblaciones tienden a incrementarse más rápido que la producción de alimentos, este es el punto central de su declaración famosa del CAPÍTULO 1 de su libro: "La población, cuando no se limita, se incrementa en una proporción geométrica (1, 2, 4, 16, etcétera). Los incrementos de la subsistencia lo hacen en una proporción aritmética (1, 2, 3, 4, etcétera)". Esta desproporción tan evidente llevó a Malthus a la conclusión que el crecimiento de la población sería limitado por la producción de alimentos, Darwin utilizaría este argumento como uno de los fundamentos de su teoría de la Selección Natural.

La geografía botánica de Alexander von Humboldt

En el siglo XVIII y principios del XIX, la potencia marítima de países como Inglaterra, España, Francia y Portugal les permitió enviar muchas expediciones de exploración alrededor del mundo con el objetivo principal de ampliar el comercio marítimo con países de otros continentes y sin duda encontrar materias primas valiosas, esto les permitió “descubrir” nuevos recursos naturales y la generación de catálogos donde se describían a las “nuevas” especies, al inicio del siglo XVIII se conocían 20,000 especies de plantas un siglo después a partir de estas actividades se duplicó esta cantidad, respecto a las más de 400,000 que se han determinado hasta nuestros días.

Estas expediciones se componían de diferentes tipos de naturalistas, incluyendo a botánicos como Alexander von Humboldt, que por sus aportes es considerado como uno de los fundadores de la ecología; él fue de los primeros en señalar la relación de los organismos con el ambiente, proponiendo la asociación entre los tipos de vegetación respecto a cinturones latitudinales definidos, considerando el clima y la posición geográfica, se considera que von Humboldt es quien funda la disciplina conocida como Geobotánica.

Darwin y la incorporación de las propuestas evolutivas a los procesos ecológicos

Una faceta del aporte de Darwin a la Ecología se deriva de las notas que logró registrar durante su travesía en el buque Beagle, poco se ha mencionado un estudio sobre cirripedios, de los que describe especies nuevas y define una distribución regional en los diferentes océanos, Darwin encontró que los bálanos no se confinan a zonas frías, conoció 1467 especies, siete de estas con un registro dudoso de su hábitat, de las restantes, colocó a 37 como habitantes de zonas templadas y cálidas, 46 fueron exclusivas de zonas cálidas y 57 de zonas templadas, estas zonas aunque de menor extensión tuvieron más especies, mostró que la separación de las zonas templadas hemisféricas reflejaba procesos de aislamiento de las especies de balanos. *Balanus* fue el género que registró más de 36 especies, nueve las registró en zonas tórridas, 15 en templadas y 12 en ambas zonas, así dividió los océanos con balanos en cinco provincias y señaló las listas de especies para cada provincia (Darwin 1854:164–171).

Para 1859, Darwin logró concluir y publicar su obra cumbre “*On the Origin of Species*”, considerando las ideas de Thomas Malthus y Alfred Russel Wallace entre otros, el **CAPÍTULO 3**, “Struggle for Existence,” se basó en su interpretación del modelo Malthusiano más el soporte de los datos de historia natural de Linnaeus, Alphonse de Candolle, Charles Lyell entre otros. Uno de sus ejemplos fue el elefante, que es un animal con el período de reproducción más lento conocido. En este caso, hizo un cálculo hipotético sobre el crecimiento de la población asumiendo que toda la progenie se

“...si crían cuando tengan treinta años de edad y continúan reproduciéndose hasta los 90 años, trayendo tres pares de jóvenes en este intervalo, si esto es así, al final del quinto siglo habría quince millones de elefantes vivos, descendientes de la primera pareja.”

De los CAPÍTULOS que aportan las evidencias que usó Darwin para explicar su teoría evolutiva, los CAPÍTULOS 11 y 12 describen distribuciones geográficas, que incluyen información de su viaje en el Beagle, diferentes autores coinciden que la forma de trabajar de Darwin finaliza el naturalismo descriptivo e inicia un período de interpretación, especulación y revisión de la distribución geográfica de la vida de las plantas y los animales.

Uno de los discípulos más fervientes de Darwin, Ernst Haeckel (1834–1919), señaló no solo la necesidad de una nueva ciencia de biología evolucionaria, sino también de una nueva ciencia, que él nombró como Ecología en su *“Generelle Morphologie der Organismen”* (1866). Haeckel dedicó esta obra a Goethe, Lamarck y Darwin, a quien le envió una copia en 1866.

El siguiente libro de Darwin de 1862, fue *“The origin was of the various contrivances by which British and foreign orchids are fertilized by insects, and on the good effects of intercrossing”*, en este texto se benefició de su conocimiento amplio de los insectos y fue el paso siguiente de la conversión de Darwin como botánico, aprendiendo que las orquídeas tienen un enorme rango de mecanismos de polinización donde intervienen los insectos.

Con esta oportunidad, Darwin mostró que las estructuras inusuales de las orquídeas no eran el resultado de un capricho natural o de un designio divino sino producto de la selección natural, su libro sobre orquídeas determinó como la fertilización ocurría de acuerdo a cada especie y a su manera explicar cómo evolucionaron los mecanismos de entre las orquídeas y sus insectos polinizadores para asegurar una fertilización cruzada más que por procesos de autofertilización.

Los libros de Darwin, *“The Effects of Cross and Self Fertilization in the Vegetable Kingdom”* (1876) y *“The Different Forms of Flowers on Plants of the Same Species”* (1877) son relevantes para la ecología por que destaca la función ecológica de los insectos como polinizadores importantes. Señala la importancia de la fertilización cruzada en *“Orchids”*, que impulsó la investigación en este grupo floral. Darwin enfatizó la importancia de la fertilización cruzada para la fertilidad y el vigor e ilustró el mecanismo que evolucionó en *Primula veris* para asegurar la fertilización cruzada.

El último libro de Darwin fue *The Formation of Vegetable Mould, through the Action of Worms, with Observations on Their Habits* (1881). Los científicos del suelo juzgan que este libro es un precursor sorprendente de las ciencias de la tierra, en

temas tan variados como la erosión, la transferencia de materia en una escala de los lechos de agua vastos, la alteración de los procesos paedogenéticos, ecología, el bio-funcionamiento del suelo y la paedo-arqueología.

Sin duda los escritos de Darwin son plenos de observaciones y comentarios ecológicos, su *Journal of Researches* (1839) y otros escritos derivados de su viaje en el *Beagle* fueron importantes fundamentos en la ciencia ecológica (Egerton 2010b); pero el clímax de sus contribuciones ecológicas estuvieron en el “*Origen de las Especies*”. Aunque Linnaeus sentó una base importante en 1749 con la economía de la naturaleza (Egerton 2007b:81–82) creía en la inmutabilidad de las especies, creencia que fue rebatida en la primera mitad del siglo 19 cuando los naturalistas y sus hallazgos cambiaron este concepto, pero el algo más que se necesitaba para convertirse en el fundamento de la nueva ciencia ecológica fue aportado por la teoría evolutiva Darwin que se consolidó dos décadas después de su muerte.

LOS NATURALISTAS INGLESES EN LOS TIEMPOS DE DARWIN

Hooker, Huxley y Wallace fueron biólogos británicos de la era Victoriana del Imperio Británico, en este tiempo el gobierno inglés y sin duda otros gobiernos europeos también, tenían un interés profundo en la catalogación de las plantas y animales y más los de interés económico para sus gobiernos, al grado que financiaban a los científicos que quisieran incrementar el conocimiento en este campo mediante el descubrimiento de nuevos usos de la biota. Así que estos tres hombres estuvieron orgullosos de tomar estas oportunidades de avanzar en sus ciencias, como la biología y la biogeografía, ambas importantes para la construcción futura de la ciencia ecológica. Hooker, Huxley y Wallace también fueron los líderes de los naturalistas ingleses durante la revolución darwiniana e hicieron contribuciones sustanciales al pensamiento ecológico en muchas de sus publicaciones.

Joseph Dalton Hooker (1817–1911) fue hijo del botánico William Jackson Hooker (1785–1865), quién fue director del Kew Royal Botanic Gardens; alcanzó el mejor conocimiento de la distribución de las plantas vasculares, tal como lo hizo Wallace con el conocimiento sobre la distribución de los animales.

Inspirado por las crónicas de viaje de Humboldt y Darwin, tuvo las conexiones para obtener el puesto de cirujano asistente y naturalista, pero Hooker se acomodó como botánico con tareas más simples que las hechas por Darwin en sus viajes en los que colectaba animales, plantas y fósiles; Hooker además de coleccionar plantas, también realizó arrastres de redes de plancton, publicó los registros de las plantas que colectó y artículos breves sobre musgos y algas.

Su "*Botany of the Antarctic Voyage*" está compuesta de tres trabajos en seis volúmenes: "*Flora Antarctica*" (dos partes, 1844–1847), "*Flora Nouvae-Zelandiae*" (dos partes, 1852–1855) y "*Flora Tasmaniae*" (dos partes, 1855–1860). Ya que el viaje antártico circunnavegó el Polo Sur, Hooker pudo comparar las floras de islas separadas como las Kerguelen, Auckland y las Falkland, encontrando similitudes entre ellas.

En la mayoría de los casos, estableció los hábitats y rangos de distribución de las numerosas especies que describió, comparó las floras regionalmente e intentó explicar las afinidades y diferencias considerando la existencia de "comunicaciones terrestres" entre las áreas en cuestión, considerando la presencia común de los órdenes superiores de plantas; en el caso de las plantas con esporas, explicaba que estas podían ser acarreadas grandes distancia por "*los vientos violentos y prevaecientes del oeste*", propuso que las plantas sub-antárticas bien adaptadas al frío aisladas de las montañas de Nueva Zelanda debieron ser dispersadas mientras que el clima era más frío, y que su distribución en las cimas de las montañas fue causada por el cambio a un clima cálido en las partes bajas.

Las observaciones sobre las correlaciones entre el clima y la vegetación que inició en el Antártico las continuó en un viaje a la India, ahí encontró que la botánica de la cordillera Parasnath era interesante, porque a pesar de la elevación no hubo un cambio en la flora como esperaba, no dudó en señalar que este se debía al clima seco y el suelo estéril de la zona, esto lo confirmó cuando describió la flora de los Montes Himalayas.

Thomas Henry Huxley (1825–1895) rápidamente fue aprendiz de los practicantes médicos, su ambición lo motivó a leer extensamente y a unirse a la Marina como cirujano asistente. En el viaje del *Rattlesnake* en las aguas costeras de Nueva Guinea de 1846–1850, estudió la anatomía de invertebrados como Coelenterata, Cefalópodos y Tunicata más que enfocarse en los corales.

Los descubrimientos de Huxley tuvieron implicaciones para la historia natural, como sus descripciones del tracto digestivo, anatomía reproductiva y distribución de estos grupos en los océanos, marcando la necesidad para los ecólogos modernos de aprender sobre la anatomía y la fisiología de los organismos que estudian.

Ernst Haeckel y "OECOLOGY," el estudio de la casa propia

"*El origen de las especies*" fue un éxito comercial inmediato, a pesar de que el texto se calificó como técnico por carecer de ilustraciones, "*Natürliche Schöpfungsgeschichte*" (La Historia Natural de la Creación) apareció en Alemania en 1868, escrito por un profesor de Zoología de la Universidad de Jena llamado Ernst Haeckel, la traducción al inglés incluyó el título completo "The Story of Creation: or the Development of the Earth and its Inhabitants by the Action of Natural Causes; a Popular Exposition of the Doctrine of Evolution in General, and that of Darwin, Goethe, and Lamarck in Particular" (1876).

Haeckel fue un seguidor entusiasta de Darwin y su libro introdujo la teoría evolutiva a un público lector amplio, aunque la versión de Haeckel no fue completamente relacionada a la de Darwin, sobre todo porque apoyaba la evolución pero difería acerca de que la selección natural fuese el mecanismo evolutivo único.

Él pensaba que Lamarck estuvo más cerca de la verdad, por sus aportes sobre la adquisición de las modificaciones físicas como adaptación a sus condiciones ambientales, las cuales podían ser heredadas a su progenie, creyó que la evolución ocurría en fases distintas, la primera consistió en el eslabón perdido entre los simios y humanos, en esos tiempos llamado *Pithecanthropus alalus* ("simio humano sin habla"), que luego fue corregido por el anatomista holandés Eugene Dubois (1858–1940) que descubrió los restos fósiles del Hombre de Java, consideró que era el eslabón perdido de Haeckel y lo renombró como *Homo erectus*.

Haeckel fue un zoólogo hábil, especializado en anatomía de invertebrados, arregló a los organismos vivos de acuerdo a su propio orden evolutivo, proponiendo un árbol de la vida donde ubicó a los humanos en el pináculo, no olvidó agregar a los llamados "antropoides" como gibones, simios (incluyendo a los chimpancés) y humanos.

En "*The Story of Creation*", Haeckel expuso las ideas que había desarrollado en "*Generelle Morphologie der Organismen*" (Morfología General de los Organismos, 1866), en esta obra exploró las implicaciones de la evolución, en particular las relaciones entre los organismos vivos y su entorno, durante el desarrollo de este tema acuñó la palabra *Ökologie* para describir el estudio de esas relaciones, derivando la palabra de dos palabras griegas: oikos que significa casa y logos que significa discurso pero luego se extendió su significado a universo (logon) y ciencia; también acuñó otros términos de uso común en el lenguaje biológico como phylum, filogenia y el reino Protista. Los científicos no han hecho a un lado algunas de las ideas de Haeckel, particularmente aquella que "la ontogenia recapitula la filogenia", sobre todo a la luz del avance de la Biología del Desarrollo en los últimos siglos.

CÓMO ÖKOLOGIE SE VOLVIÓ "ECOLOGÍA"

Ernst Haeckel definió "*Ökologie*" en su "*Generelle Morphologie*" como "la ciencia comprehensiva de las relaciones de los organismos con el ambiente". Luego, en 1870, expandió la definición como sigue: "Por *Ökologie*, entendemos el cuerpo de conocimientos relacionados a la economía de la naturaleza- la investigación de las relaciones totales de los organismos tanto con su ambiente orgánico e inorgánico, incluyendo, sobre todo, las relaciones amistosas y hostiles con aquellos animales y plantas con las que entra en contacto directa o indirectamente- en una palabra, *Ökologie* es el estudio de esas interrelaciones complejas referidas por Darwin como las condiciones de la lucha por la existencia".

Esta idea inspiró al botánico danés Eugenius Bülow Warming (1841-1924), profesor de Botánica en el Royal Institute of Technology de Copenhague, quien fue el primer científico que enseñó un curso universitario de ecología vegetal y que publicó un libro de texto de la disciplina titulado *"Plantesamfund: Grudtroek af den økologiske Plantegeografi"*, traducido al inglés como *"Oecology of Plants: An Introduction to the Study of Plant Communities"* (1909).

Warming fue un geógrafo vegetal, como el botánico alemán Andreas Franz Wilhelm Schimper (1856-1901), ambos combinaron la aproximación de Haeckel a las comunidades de plantas con los descubrimientos acerca de la distribución de la vegetación que hizo Alexander von Humboldt. Su trabajo influyó a Karl Willdenow del Berlin Botanical Garden, quien tomó la oportunidad de la revisión necesaria de los esquemas sobre la vegetación para re-arreglarlo de acuerdo a líneas ecológicas.

Ya que el alfabeto inglés no tiene las letras ö o ø, oe se usa en su lugar, esta es la transliteración que hicieron los traductores con el libro usado por Warming, por ese tiempo la nueva ciencia fue conocida como "oecology", o alguna vez como "oikologie", usándose así hasta el tiempo que el libro de Warming empezó a caer en desuso; el interés sobre este nuevo tópico científico se extendió de Europa a los Estados Unidos, donde los botánicos pasaron por alto el uso de o y llamaron a su disciplina "**ecology**".

La escritura de la palabra se cambió finalmente de "oecology" a "ecology" después de una revisión realizada como una tarea posterior a un congreso botánico realizado en Madison, Wisconsin, en 1893, después de esta fecha se adoptó el uso de "ecology", traducándose al español como ecología.

Aparte del interés natural de conocer el origen del término que identifica a la ciencia que estudiamos aquí, en el momento que se adopta su uso también se refleja el interés de ese grupo de botánicos para investigar sobre las maneras en las que las plantas se adaptan a sus ambientes, en contraste al estudio tradicional de la fisiología vegetal basada en la investigación en el laboratorio.

Los fundadores de la nueva disciplina –los primeros ecólogos- también ampliaron los horizontes de los estudios taxonómicos, pues los colectores debieron poner mayor atención a los "ambientes" en los que recolectaban sus especímenes. "*Ecology*" o Ecología, no fue el único término que este grupo de botánicos procuró estandarizar, en un encuentro celebrado en Rochester, New York; el Botanical Club de la American Association for the Advancement of Science, dirigido por su primer director Nathaniel L. Britton (1857–1934), propusieron reglas para la denominación científica de las plantas, creando el Rochester Code que luego formalmente constituyó el American Code of Botanical Nomenclature.

LA NOCIÓN DE BIOCENOSIS: WALLACE Y MÖBIUS

Alfred Russel Wallace, contemporáneo y competidor intelectual de Charles Darwin, fue el primero en proponer una “geografía” de las especies animales. Varios autores coetáneos reconocieron que las especies no conviven independientes unas de otras, y se agruparon en grupos de plantas y de animales y después en comunidades de seres vivos o “biocenosis”. El primer uso de este término se atribuye a Karl Möbius en 1877, pero desde 1825 el naturalista francés Adolphe Dureau de la Malle usó el término “asociación” para definir un ensamblaje de plantas individuales de diferentes especies.

LOS BANCOS DE OSTIÓN DE KARL MÖBIUS Y LA BIOCENOSIS

Por el año de 1868, el entonces ministro prusiano de agricultura, llamado Karl Möbius (1825-1908), además profesor de zoología de la Universidad de Kiel ubicada en la costa del mar Báltico, investigaba la salud y la viabilidad económica de los bancos de ostión en la bahía de Kiel.

En aquellos días los ostiones locales llamadas “Schleswig” eran una delicadeza gastronómica famosa y cara; algunas se servían en los banquetes de cumpleaños de la Zarina Catalina II en San Petersburgo; por su carácter natural, se diferenciaban de las cultivadas y por ello su mercado se ampliaba al resto de Europa, de ahí el interés del gobierno prusiano de aprovechar los mercados europeos lejanos, alcanzables gracias a la expansión de las redes ferroviarias.

Entonces Möbius inició el estudio de estos ostiones, llegando a conclusiones para su manejo futuro; en su reporte publicado en 1870 con el nombre de *“Die Auster und die Austerwirtschaft (Los ostiones y su cultivo)”* escribió lo siguiente:

“Si los bancos de ostión permanecen productivos permanentemente para el beneficio general de los ciudadanos de un estado, como también para los habitantes de la costa, entonces la extensión de la pesquería de ostión no será determinada por los requerimientos de los consumidores sino por los precios de los ostiones y por los incrementos anuales de crecimiento”.

Möbius reconoció la necesidad de lo que ahora llamamos manejo sostenible, señalando que las cosechas tomadas de la población natural no deberían exceder la proporción del número de individuos que se reclutan a la población en cada año. Desafortunadamente, aunque no sorprende, esta propuesta se ignoró en su momento; los ostiones fueron colectados con mayor rapidez respecto a sus ritmos de reproducción y crecimiento, el resultado fue que la pesquería de los ostiones Schleswig decayó años después.

El reporte de Möbius sobre los bancos de ostión de la Bahía de Kiel fue muy detallado, en el describió a todos los animales invertebrados que encontró, a sus relaciones tanto entre ellos como con el ambiente circundante, en ese reporte acota el siguiente pasaje:

“Cada especie que vive aquí está representada por el mayor número de individuos que pueden crecer y madurar en las condiciones que los rodean, pero en todas las especies el número de individuos que llegan a la madurez en cada periodo de crianza es mucho más pequeño que el número de gérmenes producidos en ese tiempo.*

El número total de individuos maduros de todas las especies que conviven juntos en cualquier región es la suma de los sobrevivientes de todos los gérmenes que han sido producidos en todos los periodos de crianza y reproducción pasados; y esta suma de gérmenes maduros representa un cierto quantum de vida que entra en un cierto número de individuos, los cuales como lo hace la vida, ganan permanencia por medio de la transmisión.

*La ciencia no posee aún, alguna palabra por la cual la comunidad de seres vivientes sea designada; ninguna palabra para una comunidad donde la suma de las especies y los individuos sea limitada mutuamente y seleccionada por las condiciones de vida promedio externas, teniendo por medio de la transmisión, la posesión continua de un cierto territorio definido. Propongo la palabra **biocoenosis** para dicha comunidad. Cualquier cambio de los factores relacionados la biocoenosis produce cambios en los otros factores de la misma”.*

En 1904, los botánicos Carl Joseph Schröter (1855-1939) y Oskar von Kirchner (1851–1925) extendieron el concepto de biocenosis en su escrito *“Die Vegetation des Bodensees”* (La vegetación del Bodensee); el Bodensee también conocido como Lago Constanza, se ubica en la frontera de tres países: Alemania, Suiza y Austria; en este escrito también presentan el término **sinecología**, el cual definen como el estudio completo de las comunidades vivientes también autoecología, que es el estudio de los organismos sencillos y las poblaciones pequeñas. En los primeros años del siglo XX, los biólogos se ocuparon intensamente en definir conceptos ecológicos de forma tal que la ciencia de la ecología empezó a adquirir su propio vocabulario.

Stephen Forbes y *“The Lake as a Microcosm”*

En febrero de 1887, Stephen Forbes (1844-1930), profesor de zoología y entomología de Illinois State University y entomólogo estatal, presentó el escrito *“The Lake as a Microcosm”* en un encuentro de la Peoria Scientific Association, posteriormente este escrito se publicó en el Bulletin of the Scientific Association.

Forbes también publicó escritos sobre la alimentación de las aves y de peces; parece que este campo estimuló su interés en los organismos lacustrinos, investigando en muchos de los lagos de Illinois, Wisconsin y en el lago Michigan; al ser nombrado como entomólogo del estado de Illinois, su trabajo se concentró más en los insectos, por lo que destinó menos tiempo al estudio de la vida en los lagos.

Su escrito reveló una nueva forma de observar a las plantas y a los animales, antes de iniciar su descripción detallada de la vida lacustre, Forbes introdujo el tema con los siguientes párrafos:

“Los animales de un cuerpo de agua están, marcadamente aislados como un todo, cercanamente relacionados entre ellos mismos y en todos sus intereses, pero muy lejos de ser independientes de la tierra de su alrededor, si cada animal terrestre fuera aniquilado súbitamente, sería indudable que pasaría largo tiempo antes que la multitud general de los habitantes del lago sintiera los efectos de este evento de manera importante. En un cuerpo de agua sencillo uno encuentra un equilibrio y actividad de la vida orgánica más completo e independiente que en un cuerpo terrestre igual, es una isleta de vida inferior más antigua en medio de la vida superior más reciente de la región que le rodea. Forma un pequeño mundo dentro de sí mismo, - un microcosmos en el cual todas las fuerzas elementales están trabajando en el juego de la vida hasta su plenitud - pero en una escala tan pequeña para llevarla fácilmente dentro de la comprensión mental.”

“Aquí podemos ver con más claridad lo que podemos llamar como la sensibilidad de un organismo de dicho complejo orgánico, expresado por el hecho que lo que sea que afecte a la especie le pertenece, y rápidamente debe tener algún tipo de influencia sobre el ensamblaje completo. Entonces estaríamos ante la imposibilidad de estudiar cualquier forma completamente, fuera de relación con las otras formas -, por ello se da la necesidad de realizar una investigación comprensible del todo como una condición para el entendimiento satisfactorio de cualquier parte”.

En este escrito, que fue elaborado antes que Möbius escribiera acerca de las biocenosis formadas por las comunidades del banco de ostiones de la Bahía Kiel, Forbes insistió que las especies pueden ser entendidas completamente solo mediante su estudio en su contexto ecológico; en un evento de la Universidad de Illinois, que conmemoró la vida y obra de Forbes, el zoólogo H. J. van Cleave señaló lo siguiente:

“Muy temprano en su programa, él se impresionó con la significancia de las interrelaciones entre los organismos y su ambiente. Antes que la ecología se hubiera concebido como una progenie de las ciencias biológicas, el Profesor Forbes adoptó el punto de vista ecológico en sus escritos publicados...este punto de vista ecológico ha dominado el programa de investigación entero.”

FRANCOIS ALPHONSE FOREL Y LOS HABITANTES DE LAC LÉMAN

En la Universidad de Ginebra, Suiza, existe el Institut F. A. Forel, dedicado al estudio de los lagos y los ríos, su nombre hace onomástico a François-Alphonse Forel (1841–1912), científico suizo que fundó el estudio de lo que ahora llamamos limnología, por su ubicación a la orilla del lago que es el segundo en extensión de toda Europa, por lo que la ubicación de este Instituto no pudo ser mejor.

Entre 1872 y 1875, F. A. Forel publicó una obra de tres volúmenes: *“Le Léman: Monographie limnologique”* (*El Léman: Monografía Limnológica*), describiendo el lago y las comunidades de los organismos que lo habitaban. En las siguientes palabras del primer CAPÍTULO, Forel explicó cómo acuñó la palabra *limnología*:

“El objeto de este libro trata con la parte de la Tierra y por supuesto, su geografía, la geografía de los océanos es llamada oceanografía. Pero un lago, tan grande como pueda ser, no tiene significado como un océano, su área limitada le da una característica especial que es muy diferente a la del océano sin fin.

*He encontrado una palabra más modesta para describir mis investigaciones, dicha palabra es limnografía. Pero como un limnógrafo es un aparato para medir el nivel del agua de los lagos, he acuñado la nueva palabra **limnología**. La limnología es en hecho, la oceanografía de los lagos.”*

Forel fue el primer científico (mejor dicho, limnólogo) en estudiar un tipo de olas que se forman en los lagos muy extensos, estas olas se denominan seiches; estos seiches se forman cuando las corrientes de viento cruzan la superficie del lago alternando la presión del aire sobre la superficie del agua, lo que puede hacer que el agua oscile rítmicamente, produciendo estas olas estacionarias que permanecen de varios minutos a algunos días.

Otro tema de su interés fueron las *corrientes de densidad* típicas de los lagos alpinos que reciben aguas de glaciares, estas aguas por su origen son muy frías y densas por que acarrean materiales terrígenos, la diferencia de temperatura respecto a las aguas superficiales calentadas por el sol tienden a permitir que se separen provocando que las aguas de menor temperatura y mayor densidad se hundan hacia el fondo del lago, produciendo corrientes. Forel describió los seiches y las corrientes de densidad entre otros temas, en el libro referente de la limnología: *“Handbuch der Seenkunde”* (Manual de la Ciencia de Lagos), publicado en 1901.

EDWARD FORBES Y PHILIP GOSSE EN LOS INICIOS DE LA INVESTIGACIÓN ECOLÓGICA MARINA

Edward Forbes fue un naturalista británico que centró las actividades de investigación marina en aguas europeas, en tanto Philip Gosse como naturalista autodidacta alcanzó prominencia como conductor de investigaciones originales y como un popularizador de la vida marina costera. Antes de su tiempo, varios naturalistas hicieron contribuciones notables pero individuales y aisladas que por sí mismas no crearon un movimiento científico.

Es el caso del conde italiano Luigi Ferdinando Marsigli (1658–1730), que escribió el primer tratado de oceanografía. El término “oceanografía” es anacrónico, pero indica la temática de su *“Brieve ristretto del saggio fisico intorno alla storia del mare”* (1711), que en 1725 se expandió al francés con el nombre de *“Histoire physique de la mer”*, su obra incluye estudios del ambiente físico y sobre la vida marina. El usó una draga para coleccionar ostras y un artefacto para esponjas, sargazos y corales de las aguas someras del mar Adriático a lo largo de la costa mediterránea francesa.

Las observaciones de Marsigli en 1681 de las corrientes en el Bósforo se tradujeron al inglés. Un físico-naturalista italiano Vitaliano Donati (1713–1763), publicó un ensayo sobre la historia natural del mar Adriático en Venecia (1750), luego Abraham Trembley lo resumió para la Royal Society’s Philosophical Transactions en 1756; el libro de Donati se tradujo al francés en 1758.

El naturalista inglés John Ellis (1710–1776), publicó *“Essay towards a Natural History of the Corallines”* (1755), que ilustró profusamente y señala que los corales son animales, no plantas. En la década de 1770, el danés Otto Frederik Müller (1730–1784) fue el primero en coleccionar en las profundidades de los fiordos del sur de Noruega, empleando una draga para ostras modificada, describiendo muchos organismos marinos, con lo que inició la *“Zoologia Danica”* (1779–1784).

La biología marina tuvo un inicio temprano en Francia, dos naturalistas franceses: François Péron (1775–1810) y Charles-Alexandre Lesueur (1778–1846), fueron los primeros en usar redes de cuchara para estudiar a los organismos de las superficies oceánicas durante una expedición francesa a Australia entre 1801 a 1804. Péron y Lesueur hicieron colectas de plancton en la expedición, después lo hicieron en el mar Mediterráneo, publicando sus hallazgos en algunos reportes.

En 1815, Lesueur continuó haciendo trabajo de campo en América, en las costas neoyorquinas y de Barbados, sus investigaciones las publicó en 1817. Esta rama de investigación fué seguida por Jean-Victor Audouin (1797–1841) y Henri Milne-Edwards (1800–1885), quienes trabajaron en las costas de Normandía y de Bretaña, fundaron la biología marina francesa entre 1826–1829; Edward Forbes en 1859,

agradeció su "*Recherches pour servir à l'histoire naturelle du littoral de la France*" de 1832, como "*el primer impulso a la investigación científica de la distribución de los animales marinos*".

En Inglaterra la biología marina inició con una orientación práctica. Por ejemplo, William Scoresby Jr. (1789–1857) después de ser profesor en la Universidad de Edinburg se convirtió en capitán de un barco ballenero, el profesor de Historia Natural Robert Jameson lo valoró en su obra "*Account of the Arctic Regions, with a History and Description of the Northern Whale-Fishery*" (1820), en el Volumen I presenta una historia natural del Ártico y el Volumen II trata sobre las ballenas. El Volumen I incluye geografía, una investigación hidrográfica del mar de Greenland, la meteorología, y una investigación de mamíferos acuáticos y terrestres, de aves, peces, crustáceos y gusanos.

En 1823, en la reunión de la Zoological Society of London, el entomólogo William Kirby comentó el progreso lento de la descripción de los invertebrados acuáticos. El zoólogo Robert E. Grant (1793–1874), de la Universidad de Edimburgo en 1827 siguió esta línea de trabajo, lo suficiente para motivar el interés posterior de Charles Darwin en los animales marinos de aguas someras y para abogar por la evolución Lamarckiana; aunque Grant no persuadió a Darwin para que aceptara la teoría de Lamarck, si logró que se impresionara con el trabajo de Lamarck como zoólogo, tanto como para hacer su propia copia de la clasificación de invertebrados del libro "*Système des animaux sans vertèbres*" (1801).

John Vaughan Thompson (1779–1847) cirujano del ejército inglés, fue un naturalista que describió el uso de los que ahora reconocemos como una red de plancton. Pero fue precedido en su uso por John Cranch, que usó una red similar en la expedición de James Tuckey al Congo en abril de 1816. Thompson la usó por primera vez en 1816, mientras regresaba de Mauricio, pero publicó sus resultados hasta 1830. Para lograr esto, arrastró una capucha de muselina de la popa del barco y atrapó "una profusión de animales marinos casi invisibles mientras están en el mar, como para inducir su uso continuo en cada oportunidad favorable".

Los estudios de Thompson sobre el plancton le permitieron descubrir que los crustáceos pasan por diferentes etapas metamórficas conforme crecen y que los bálanos son crustáceos, no moluscos como se pensaba, publicando sus hallazgos en revistas científicas y en panfletos propios entre 1828–1834.

Charles Darwin (1809–1882) fue el siguiente usuario de una red de plancton, durante el viaje del *Beagle*, empezando el 10 de enero de 1832. Darwin pudo ser el primero en discutir que muchos organismos asociados al sargazo (*Fucus giganticus*), se relacionaban en una red trófica compleja. También estudió a los corales de los océanos Atlántico y Pacífico, desarrollando su teoría sobre la formación de los arrecifes de coral de 1842.

De Edward Forbes Jr. (1815–1854), llama la atención su precocidad científica, a la edad de siete inició su colección de especímenes, iniciando un pequeño museo doméstico, a los doce años escribió *“A Manual of British Natural History in all its Departments”*, aunque estudió Arte, cambió al estudio de la medicina, pero mostró mayor atención a los cursos de Historia Natural, abandonando la carrera médica, en 1834 publicó en *University Journal* de la Universidad de Edinburgh su primera nota científica *“On British Species of Patella”*, señalando hábitats y localidades de estos moluscos, en 1835 empezó la publicación de *“Records of the results of dredging in the Irish Sea”* (1836), en los que describe especies nuevas de moluscos.

Forbes también publicó información científica sobre ecología vegetal, después de un viaje por los Alpes publicó notas científicas como *“On the Comparative Elevation of Testacea in the Alps”* (1837), señalando que *“la influencia de la elevación sobre la distribución de las plantas es un tema popular hoy en día por los botánicos, mientras que la misma influencia sobre los animales es negada”* esta aseveración la hizo especialmente hacia los invertebrados, en este trabajo solo presentó el listado de especies de caracoles encontrados a diferentes elevaciones y en diferentes tipos de vegetación, sin hacer generalizaciones, dibujos y conclusiones.

Luego inició un proyecto más ambicioso que presentó a la British Association for Advancement of Science en 1838 y 1839 sobre la distribución de los moluscos pulmonados, con sus resultados estableció seis distritos naturales para los moluscos de agua dulce en Europa y diez distritos más pequeños (él fue el primero en llamarlos provincias) para las islas británicas. Con estos hallazgos y la adición de información de factores como topografía, clima y tipo de roca construyó las relaciones entre las especies de moluscos y estos factores del ambiente, proponiendo una línea de trabajo más enfocada a la explicación de los procesos ecológicos involucrando directamente a los animales.

OSCAR DRUDE Y LAS COMUNIDADES DE PLANTAS.

Un mapa de un atlas geográfico puede describir una gran área cubierta por un tipo particular de vegetación natural, como el bosque boreal, el bosque tropical o el desierto, aunque en el mapa esto puede ser eficaz, a una escala menor está lejos de serlo.

Un visitante al arribar a un área encontrará diferencias locales amplias, por ejemplo, un desierto no es tan completamente árido, ni pleno de dunas o rocas desnudas, los oasis son evidencia de la presencia de vegetación exuberante.

Un bosque boreal ubicado en el cinturón latitudinal de Norte América y Eurasia, es dominado por plantas coníferas como pinos, abetos y cedros, pero presenta las cimas de montes y montañas desprovistas de vegetación, esta forma de vegetación tampoco crece en valles ribereños y alrededor de las costas de los lagos.

En 1896, Oscar Drude (1852-1933), entonces director del Dresden Botanical Gardens, publicó *“Die Ökologie der Pflanzen”* (Ecología de las Plantas), en este libro mostró que los factores locales, como colinas, valles y las variaciones locales de temperatura y precipitación pluvial influyen en la composición de las comunidades vegetales, con esta obra se convirtió en uno de los fundadores de la ecología vegetal.

Drude fue autor y coautor de varios trabajos importantes, el primero fue el *“Atlas der Pflanzenverbreitung”* (Atlas de Distribución de las Plantas, 1887), también el *“Handbuch der Pflanzengeographie”* (Manual de Geografía de las Plantas), coeditó con Adolf Engler (1844-1930) *“Die Vegetation der Erde”* (La Vegetación de la Tierra), que se publicó entre 1896 y 1928.

El primer científico que definió y uso la frase “bosque tropical lluvioso” fue el botánico y geógrafo vegetal alemán Andreas Franz Wilhelm Schimper (1856–1901), en *“Pflanzengeographie auf Physiologischer Grundlage”* publicado en 1898; la primera edición en inglés se presentó en 1903 con el título *“Plant Geography on a Physiological Basis”*.

En el trabajo de Schimper el “bosque tropical lluvioso” se definió como “*de carácter siempre verde, higrófilo, al menos de treinta metros de altura, rico en lianas de tallo grueso y en la vegetación también hay herbáceas epífitas*”, esta sigue siendo una definición que permanece en uso hoy en día.

Según Schimper, Las lianas son plantas trepadoras que cuelgan libres; las epífitas son plantas que crecen en la superficie de otras plantas, usándolos como hospederos que las sostienen pero no son parásitas, también observó que en el clima templado de Europa, casi toda de tierras bajas con granjas, los cambios locales en las comunidades vegetales no fueron tan evidentes.

La geografía de las plantas condujo a la Fitosociología, esta última se empezó a desarrollar cuando los botánicos europeos comenzaron a viajar en el mundo, conociendo de primera mano la vegetación de los trópicos húmedos, los desiertos tropicales y las tundras.

JOSIAS BRAUN-BLANQUET Y LA FITOSOCIOLOGÍA

En esta corriente, August Grisebach (1814–1879) fue uno de los botánicos más influyentes en la Europa de su tiempo, como taxónomo desarrolló una manera de identificar y denominar grandes unidades de vegetación y las describió en su libro *“Die Vegetation der Erde nach Ihrer Klimatischen Anordnung”* (The vegetation of the Earth after its climatic arrangement), publicado en dos volúmenes en 1872, el trabajo de Grisebach guió el concepto de provincial floral, la cual es una gran área que soporta un tipo distintivo de vegetación con muchas especies endémicas.

Grisebach aportó el patrón para el abordaje de los ecólogos vegetales europeos, adoptando el estudio de las comunidades vegetales, los científicos quienes lo desarrollaron completamente produjeron un esquema de clasificación completo, entre ellos Josias Braun-Blanquet (1884–1990).

Durante su vida, Braun-Blanquet dominó la fitosociología europea mediante el grupo de científicos que agrupó bajo su guía, este grupo fue conocido como la Escuela de Zurich de Fitosociología y desde 1930, cuando el equipo se movió a Montpellier, Francia, se le conoció como Escuela de Zurich-Montpellier. La localidad se movió debido a que Braun-Blanquet fue nombrado director de la nueva Estación Internacional para la Botánica Alpina y Mediterránea, precisamente en esa localidad.

En el tiempo que Braun-Blanquet desarrolló su método, los ecólogos vegetales estaban divididos en dos grupos, uno concentrado en la fisiología de las plantas y el otro en la clasificación. Braun-Blanquet favoreció la aproximación de la clasificación, procurando que se extendiera para cubrir comunidades completas de plantas, en los hechos dedicaba poco tiempo a los botánicos que no estaban entrenados en taxonomía y que no eran capaces de identificar a las plantas en los trabajos de campo.

La aproximación de la Escuela de Zurich–Montpellier, fue académica en el sentido que trabajó con la clasificación de las comunidades vegetales sin necesidad de relacionarla con las necesidades prácticas agrícolas o de conservación. El trabajo de esta escuela predominó en la Europa Continental, pues en el Reino Unido se adoptaron las líneas de trabajo desarrolladas en los Estados Unidos.

La Escuela de Zurich-Montpellier tuvo dos rivales académicos europeos, uno en Suecia y el otro en Estonia; la escuela de Estonia la estableció el Profesor Teodor Lippmaa (1892-1943) en la Universidad de Tartu; como tarea primera hicieron el mapa de la distribución de la vegetación en el país, esta actividad concluyó en 1955. Las comunidades vegetales se agruparon en asociaciones con base en el tipo de suelo, y las asociaciones se agruparon de acuerdo a las especies de plantas dominantes y la cantidad de agua que tenían disponible, el agrupamiento se esquematizó en un gradiente de ambientes áridos a más húmedos.

La escuela sueca fue fundada por Gustaf Einar du Rietz (1895-1967) en 1929. Du Rietz se convirtió en profesor de Botánica en la Universidad de Upsala en 1934, por ello su escuela es conocida como la Escuela de Fitosociología de Upsala, que en un principio se desarrolló de manera independiente a la Escuela de Zurich-Montpellier, sin embargo, las dos escuelas se desempeñaron sobre ideas similares. Hoy en día estas escuelas difieren solo en el énfasis que colocan en varios aspectos de sus clasificaciones.

EUGENIUS WARMING, LA ECOLOGÍA DE LAS PLANTAS Y LA CONSOLIDACIÓN DE LA ECOLOGÍA COMO DISCIPLINA

Mientras Darwin se enfocó en la competencia como una fuerza selectiva, Eugene Warming (1841–1924), consideró una nueva disciplina que tomó en cuenta a los factores abióticos del ambiente como los condicionantes en la formación de los ensamblajes de especies en las comunidades bióticas. Antes de Warming, la ecología se enfocó en la naturaleza descriptiva de la naturaleza florística y faunística.

Warming asumió que las plantas como organismos vivos, también tienen relaciones entre sí; durante el siglo XVIII los geógrafos botánicos graficaron la distribución de las familias de plantas en grandes áreas del mundo y notaron que algunos tipos de plantas ocurrían juntas, las plantas formaban comunidades y los botánicos comenzaron a estudiar esas comunidades; estos esquemas de trabajo esbozaron el desarrollo de otra rama de la ecología: la Fitosociología, que es la clasificación de las comunidades de plantas de acuerdo a las características e interacciones de las plantas. El objetivo de esta nueva disciplina fue el explicar por qué las especies pueden ocupar hábitats similares, a pesar de proceder de linajes filogenéticos diferentes, considerando sus experiencias personales sobre el “cerrado” brasileño y el “finmark” de Dinamarca, Noruega y Groenlandia.

Eugenius Warming fue profesor de Botánica del Instituto Real de Tecnología de Copenhagen, fue el primero en diseñar e impartir un curso de Ecología Vegetal y el primero en publicar un libro con el tópico “Ecología”, inspirado por la propuesta de Ernst Haeckel sobre la descripción del estudio de los organismos como comunidades.

Warming fue reconocido como un maestro excelente a pesar que escribía en su lengua nativa, el danés, sus ideas fueron muy influyentes entre el gremio de científicos de lengua inglesa, una vez que su texto *“Plantesamfund: Grundtræk af den økologiske Plantegeografi”* se tradujo a otros idiomas. La primera traducción al inglés *“Oecology of Plants: An introduction to the study of plant-communities”*, se publicó en 1909, esta versión inspiró el trabajo de protoecólogos norteamericanos como Arthur Tansley, Henry Chandler Cowles y Frederic Clements.

Warming basó su enseñanza en su texto, en este aportaba una introducción a los biomas principales del mundo, considerando que la ubicación de estos se asocia a las grandes regiones climáticas, también explicaba cómo las comunidades tendían a resolver los problemas ambientales de maneras similares, redundando que los ambientes similares usualmente estaban formados por comunidades similares, aunque pudieran estar constituidas por especies diferentes, pero sobrevivían por su capacidad de adaptación a las condiciones de vidas a pesar de sus diferencias.

Por ejemplo, las cactáceas están adaptadas a las condiciones áridas y son comunes naturalmente en América, sus equivalentes en el Viejo Mundo son las euforbias que se encuentran en los desiertos africanos, algunas de ellas son tan similares a los cactus que es difícil separarlas por su morfología.

La reptación lateral, método de locomoción que les permite a las serpientes desplazarse a través de la arena se asocia a la víbora de cascabel *Crotalus cerastes*; pero este procedimiento también se ha reconocido en tres serpientes de los desiertos del Viejo Mundo, estos y numerosos ejemplos más reforzaron el punto de vista de Warming acerca de la adaptación a las condiciones locales, asumiendo que las presiones físicas y químicas similares del ambiente producen plantas y animales de apariencia y conducta similares en diferentes lugares del mundo.

Aunque fue un creyente ferviente de la adaptación, Warming nunca aceptó la Teoría de Darwin de la evolución por la selección natural, más bien consideraba que las características que adquirirían los organismos durante su vida podían ser heredadas a su progenie, según él, esta era la manera en la que procedía la evolución.

ARTHUR G. TANSLEY, EXPLORADOR DE LAS PLANTAS BRITÁNICAS

Arthur G. Tansley (1871–1955) fue uno de los ecólogos más influyentes del siglo XX, hizo de la ecología una disciplina científica profesional, además de ser un profesor efectivo y escritor talentoso.

En particular, promovió el pensamiento ecológico hacia evitar comparaciones de los procesos ecológicos con las sociedades humanas, por la insistencia de la creación de definiciones estrictas muy en boga en su tiempo; aunque también lo usó, desaprobó el empleo de palabras como comunidad y vecindad para describir grupos de plantas y animales en sus arreglos espaciales, argumentaba lo inapropiado de escribir de entes no humanos con lenguaje alusivo a las sociedades humanas.

Tansley también objetó al término organismo cuando se aplicaba tanto a plantas como a los animales porque estos son muy diferentes, tampoco aceptó la superioridad asumida del clímax del superorganismo que propuso Clements, aunque aprobaba fuertemente el esquema general que se presentó en el libro *"Plant Sucession"* (1916). En el prefacio de su libro de texto *"Practical Plant Ecology"* del 1923, Tansley escribió lo siguiente:

"El clímax principal de las unidades de vegetación – asociación, consociación y sociedad- son adoptadas del esquema de Clements, estas parecen las unidades de trabajo más satisfactorias para el autor y han sido usadas exitosamente por varios de los mejores y más recientes trabajadores británicos. Sin embargo, la concepción de

clímax no está restringida al clímax climático, pero se aplica a cualquier comunidad relativamente estable y bien caracterizada, determinada por cualquier combinación actual de factores persistentes, incluyendo los factores abióticos".

Tansley advirtió a sus lectores de comenzar sus estudios de ecología estudiando la ecología vegetal, que como rama de estudio podía ser abordada con más facilidad, pero incluyendo la influencia de los animales y los humanos, *"El hombre ocupa una posición única que le permite extender su control sobre la naturaleza"*, lo anterior lo condujo al siguiente pasaje en el que expresa una visión europea que difiere de la visión de Clements acerca de las praderas no perturbadas:

"Entonces cualquier cosa que sea como un estudio ecológico completo de una comunidad vegetal, necesariamente incluye el estudio de los animales que viven y se alimentan de ella. La influencia humana sobre las comunidades vegetales es de importancia primaria en todas hasta las más inhabitadas y las más esparcidas en las regiones inhabitadas de la Tierra... no podemos olvidar la huella de las actividades humanas pasadas y presentes y sus efectos en la vegetación de los países que han estado habitados y densamente poblados como los de Europa central y oriental".

En la edición revisada de 1946, Tansley explicó el concepto del ecosistema, él planteó el término bioma en un sentido diferente del uso moderno, usándolo para describir *"el complejo completo de organismos –tanto plantas y animales- que viven juntos naturalmente como una unidad sociológica"* y continua:

"Una concepción más amplia también incluye con el bioma a los factores físicos y químicos del ambiente o hábitat del bioma -aquellos factores que hemos considerado bajo los encabezados del clima y del suelo- como partes del sistema físico, el cual podemos llamar un ecosistema, porque está basado en el oikos u hogar de un bioma particular"

Tansley usó primero el término ecosistema en *"The Use and Abuse of Vegetational Concepts and Terms,"* artículo publicado en *Ecology* en 1935, pero el primero en acuñar este término fue el botánico británico Arthur Roy Clapham (1904–1990) quien respondió a una pregunta expresa de Tansley sobre qué pensaba sobre una palabra que describiera a los componentes físicos, químicos y biológicos de un ambiente cuando estos se consideran en un conjunto.

También señaló la necesidad de aumentar el apoyo público para obtener el financiamiento necesario para establecer a la ecología como una disciplina. En 1902, fundó *The New Phytologist*, revista científica de la cual fue editor hasta 1931, en 1927 alcanzó el cargo de Sherardian Professor de Botánica en la University of Oxford, hasta su retiro en 1939.

En 1904, en colaboración con el botánico escocés William Wright Smith (1875–1956), Tansley estableció el Committee for the Survey and Study of British Vegetation; por muchos años Smith fue profesor real de Botánica en la University of Edinburgh, encargado real del Royal Botanic Garden de Edimburgo y botánico de la Reina en Escocia. De 1944 a 1949, fue presidente de la Royal Society of Edinburgh, que tenía como objetivo elaborar un mapa de la vegetación de las Islas Británicas; en 1911 el equipo de científicos se comprometió en la tarea de publicar sus resultados en *“Types of British Vegetation”*, editado por Tansley, además de ser uno de los contribuyentes principales a la obra. En abril de 1913, este grupo fundó la British Ecological Society, Tansley fue su primer presidente y en 1916 esta Sociedad fundó el Journal of Ecology, de la que fue su editor principal hasta 1938.

En *“Types of British Vegetation”* Tansley y sus coautores muestran que un intervalo amplio de factores, incluyendo las actividades humanas pasadas y presentes, afectan la vegetación de un área. También condujo una revisión de todos los registros de la vegetación británica, enlazando estos temas con los factores externos que producen los patrones de vegetación descritos en el libro, este tópico constituyó el tema principal del libro *“The British Islands and their vegetation”*, esta obra constituyó su mayor alcance científico literario, también hizo una versión sinóptica en 1949 denominada *“Britain’s Green Mantle”*.

Durante la primera mitad del siglo XX, en Europa creció la presión popular alrededor de la conservación de los hábitats naturales y las especies que los habitan. En Gran Bretaña fue imposible establecer áreas de protección parecidas a los parques nacionales y refugios naturales de los Estados Unidos, pero áreas de dimensiones menores se designaron como reservas naturales protegiéndolas del avance de los desarrollos urbanos e industriales. Al fin de la Segunda Guerra Mundial la cantidad de reservas naturales permitió justificadamente la creación del Wild Life Conservation Committee para identificar otras áreas potenciales de conservación; Tansley ofreció argumentos para la creación de un número mayor de áreas naturales en su libro *“Our Heritage of Wild Nature”* publicado en 1945.

Julian Huxley (1877-1945) fue el primer decano de ese comité, pero en 1946 lo abandonó para encabezar la recién formada UNESCO, Tansley lo sustituyó en 1949, estableció la Conservación de la Naturaleza, para administrar el manejo estatal de las reservas naturales en Inglaterra y para promover la investigación ecológica. Tansley permaneció como decano hasta 1953; desde 1947 a 1953 también fue presidente del Council for the Promotion of Field Studies para después retirarse.

CHARLES ELTON Y LA REGULACIÓN DE LAS POBLACIONES

Las ratas y ratones han sido plagas serias por años, estos animales han encontrado su forma de vivir a partir de los residuos de los humanos, contaminando lo que no consumen, transmitiendo enfermedades; otros animales menos desagradables como los conejos también han sido plagas en países de Europa como la Gran Bretaña, ya que se alimentan de pastos que son el alimento del ganado usado para consumo humano, en este país esta relación parecía una costumbre hasta los albores de la Segunda Guerra Mundial, pues Gran Bretaña importaba el 60% de sus alimentos, la amenaza del bloqueo naval alemán y el ataque de los buques mercantes generó una problemática alimenticia seria.

El Consejo de Investigación Agrícola buscando formas de controlar esta plaga solicitó ayuda del Bureau of Animal Population en la University of Oxford. El grupo de investigadores internacionales les propuso métodos de control para prevenir la pérdida de alimentos y contribuir a la disminución del racionamiento alimenticio.

En 1932 el Bureau of Animal Population fue encabezado por Charles Elton (1900-1991), un zoólogo que creía que los animales se estudian mejor en su estado natural; esta actitud lo llevó a sustituir el énfasis del estudio de la zoología utilizando la anatomía comparativa por un enfoque más ecológico, al tiempo a convertirse en el ecólogo animal más influyente de Gran Bretaña; sustituyendo la visión del Naturalismo por estudios que incluyeron la medición, documentación de detalles conductuales y la ejecución de experimentos, al mismo tiempo que Arthur Tansley transformó la ecología vegetal en una disciplina rigurosa, Elton hizo lo propio con la ecología animal.

El Bureau of Animal Population adquirió gran reputación internacional por su excelencia científica. También en 1932, persuadió a la British Ecological Society para lanzar el *Journal of Animal Ecology*, Charles Elton fue su editor de 1932 a 1935.

Elton consideró a Alexander von Humboldt como el posible primer ecólogo, debido a que escribió sobre el mundo natural como un todo para revelar las relaciones complejas que gobiernan el destino de plantas y animales. En este sentido su influencia intelectual más grande provino de Victor E. Shelford y su libro donde describió su investigación sobre las comunidades animales alrededor de Chicago.

En 1921, el Biólogo Julian Huxley reclutó a Elton como asistente en un viaje de campo a Spitzbergen en el Ártico noruego; Elton participó en la investigación de la ecología de los animales nativos, usando los métodos de Shelford, volvió a visitar esta localidad en los años de 1923, 1924 y 1930; esta experiencia causó que la Hudson's Bay Company le ofreciera una investigación sobre las fluctuaciones de largo plazo de los animales usados en peletería por esta empresa en el norte de Canadá usando los registros de los tramperos desde 1796.

Elton trabajó para la compañía de 1925 a 1931, en 1932 estableció el Bureau of Animal Population en Oxford University, que atrajo rápidamente a científicos de todo el mundo y adquirió una reputación

Elton publicó *“Animal Ecology”* en 1927, este fue el libro de texto que promovió el término nicho, usado en primero por el zoólogo estadounidense Joseph Grinnell (1877-1939), en ese entonces director del Museo de Zoología de Vertebrados de la Universidad de California en Berkeley. Elton escribió que “es conveniente tener un término que describa el estatus de un animal en su comunidad, para indicar que es lo que está haciendo y no meramente que es lo que parece y el término usado es nicho”. En el mismo libro introdujo las pirámides de números, como un método para representar gráficamente los niveles tróficos de un ecosistema, posteriormente se agregaron las pirámides de energía y de biomasa, estas pirámides son llamadas Eltonianas.

Su libro de 1930 *“Animal Ecology and Evolution”* desafió varias ideas ampliamente aceptadas en su tiempo, como se muestra en las siguientes palabras:

“El balance de la naturaleza no existe, y posiblemente nunca ha existido; los números de los animales silvestres varían en mayor o menor extensión y las variaciones son irregulares en periodo y también son irregulares en amplitud. Cada variación en los números de una especie causa repercusiones directas e indirectas en los números de otras y desde que muchas de ellas están variando independientemente en sus números, la confusión resultante es remarcable”.

También escribió que en los períodos de estrés es común que los animales cambien sus hábitats, usualmente por desplazamientos migratorios; esto le llevó a postular que el ambiente no es el que selecciona a los animales cuando son estos los que seleccionan su propio ambiente.

En 1942, Elton publicó *“Voles, Mice and Lemmings”* un libro que describió y trató de explicar las fluctuaciones grandes de estos animales en el Ártico, sus experiencias con estos animales le condujeron a rechazar el concepto de comunidad y de superorganismo; él explicaba que los animales más bien competían por un alimento limitado.

EL DESARROLLO DE LA ECOLOGÍA EN ESTADOS UNIDOS

Mientras muchos ecólogos vegetales de la Europa continental se concentraron en la clasificación de las comunidades, los ecólogos de los Estados Unidos, crearon otra línea de investigación a partir del trabajo de Eugenius Warming, que había escrito que cada año las plantas liberan cantidades vastas de semillas o esporas que viajaban impredeciblemente hacia áreas nuevas. Estas pueden caer en un ambiente donde encuentren hospitalidad o un suelo pobre entre competidores más vigorosos. Los americanos pusieron su atención a las maneras en las que las comunidades vegetales pueden cambiar.

Los científicos norteamericanos transformaron la ecología en una disciplina mucho más rigurosa de los que había sido previamente; estuvieron menos interesados en los listados y descripciones de las especies presentes—sin menoscabar la necesaria importancia de esta información— y más en predecir qué sucedería cuando las comunidades sufrieran un disturbio; la ecología se volvió mucho más matematizada.

En 1905 la Universidad de Michigan preparó un reporte bajo la dirección de Charles C. Adams con el título "*An Ecological Survey in Northern Michigan*". The State Board of Geological Survey publicó el reporte el siguiente año como contribución a una investigación biológica de mayor amplitud del estado de Michigan.

La carta que acompañaba al reporte, explicaba que:

"No es una mera lista de plantas y animales, ya que es un estudio de estas formas en relación a sus alrededores. Entonces es una contribución a la Historia Natural de la Península Superior, y en adición al valor científico, confío que, se use por los profesores en todas las partes de la región y en estimularlos en el estudio de las formas de vida que las habitan".

Posiblemente este fue el primer trabajo de investigación ecológica realizado en Norte América.

Charles C. Adams fue un ecólogo pionero en más de un sentido: fue el primer norteamericano en obtener un grado de Doctor en ecología, también a él se le reconoce como ecólogo más que como botánico y zoólogo, como museógrafo también se hizo cargo del Museo de la Universidad de Cincinnati, él consideraba que los museos tienen una función importante para enlazar la investigación de campo y la educación.

Adams fue un ecólogo animal con interés en los depredadores, en las primeras décadas del siglo XX, muchos biólogos pensaban que los mamíferos depredadores como los lobos, coyotes y pumas eran peligrosos para la gente y para las otras formas de vida y por eso sus poblaciones debían ser reducidas. Como entendido de la Biología y la Ecología, Adams estuvo en desacuerdo, en 1924 propuso un plan para la Conservación de los mamíferos depredadores en las tierras públicas de Norte América, argumentando una lista de razones para prevenir su desaparición, entre las principales su función como reguladores de las poblaciones de herbívoros.

HENRY CHANDLER COWLES Y LAS DUNAS DE ARENA DEL LAGO MICHIGAN

Para un ojo poco entrenado la vegetación que ocupa las dunas parece ser escasa y ubicarse al azar, los manchones de pasto creciendo a partir de rizomas escondidos, en el sitio solo parecen puntos por aquí y por allá, la vegetación es abundante en algunas áreas, esparcida en otras y ausente completamente en diferentes puntos.

El primer ecólogo que estudió cuidadosamente esta distribución fue el graduado de la Universidad de Chicago Henry Chandler Cowles (1869–1939), a quien también se le debe la popularización del término ecología; sus estudios fueron inspirados por la lectura del libro de Warming "*Plantesamfund*", lo que obligó a Cowles a aprender danés debido a la ausencia de una traducción inglesa de esta obra, posteriormente en 1905 le fue posible visitar a Warming en Copenhagen.

Lo que descubrió Cowles en el lago Michigan es que la ribera del cuerpo de agua afectaba el tipo de vegetación que podía crecer en las dunas, especialmente en las dunas frontales. La parte baja de las playas eran atacadas por las tormentas invernales y luego inundadas alternadamente con agua y desecadas por el sol, provocando cambios constantes en la arena, esta dinámica ambiental no permite la persistencia de la vegetación; en la playa media las condiciones parecen ser más apropiadas, porque en verano son cálidas y fuera del alcance de las olas con una predominancia de plantas anuales, que luego son barridas por los vientos invernales.

Las plantas anuales están adaptadas mejor a las condiciones áridas, a pesar de la proximidad del agua dulce del lago y la lluvia frecuente; esto es debido a que el sol caliente del verano y el viento incesante mantienen a la arena seca en una condición de clima seco. Además, ni las tormentas invernales pueden alcanzar la playa superior, sin embargo, hay plantas que si las ocupan.

Con la descripción de este escenario, Cowles escribió un recuento completo de su investigación en las dunas de arena como parte de su disertación doctoral, la cual fue publicada en 1899 por la University of Chicago's Botanical Gazette con el título de "*The Ecological Relations of the Vegetation on the sand dunes of Lake Michigan*", este escrito se volvió un clásico de la literatura ecológica norteamericana.

Cowles luego se dedicó a estudiar la ecología vegetal de la región de Chicago, su escrito "*The Physiographic Ecology of Chicago and Vicinity*" apareció en la Botanical Gazette de 1901. Luego escribió el segundo volumen de "*Text Book of Botany for Colleges and Universities*", publicado en dos volúmenes entre 1910–1911 por la University of Chicago Press.

En su obra, Cowles se concentró en la autoecología, con mucho rigor rechazó que una planta se haya adaptado a su forma de vida a menos que hubiera una buena razón para considerar que sus características futuras han evolucionado para ejecutar la función que ahora realiza. Esta aseveración la alcanzó a partir de los estudios que realizó en las dunas de arena; denominó a la distribución de la vegetación de las dunas como sucesión, entendida como la secuencia de cambios que ocurren en una comunidad vegetal o animal conforme se ajusta a cambios ambientales o al arribo de nuevas especies que alteran la composición comunitaria; este punto de vista “dinámico” de los conceptos ecológicos abrió la visión de las interacciones de los elementos bióticos y abióticos en los procesos ambientales, sustituyendo la visión fotográfica creada por la geobotánica del siglo XIX, además generó un desafío conceptual importante en las primeras décadas del siglo 20, al que contribuyen los trabajos de Clements y Gleason sobre los procesos comunitarios.

FREDERIC E. CLEMENTS, LA SUCESIÓN VEGETAL Y EL SUPERORGANISMO

En 1884 Charles Edwin Bessey (1845–1915) llegó a Lincoln, Nebraska, como parte de su trabajo colectó plantas nativas y siendo profesor de la Universidad de Nebraska alcanzó el nombramiento de Botánico del estado, enfocando muchos de sus esfuerzos al estudio de las praderas vastas de las llanuras centrales de los Estados Unidos.

El estudiante más renombrado del Profesor Bessey fue Frederic E. Clements (1874–1945), quien eventualmente se convirtió en el ecólogo más famoso en la historia de esta ciencia y siguió la línea de trabajo de su mentor. En 1897 Clements inició un proyecto de investigación ecológica sobre las praderas de pastos considerando las líneas de trabajo de Oscar Drude, quien propuso que caminando a través de un área y observándola directamente se podía obtener una composición confiable de esta.

Clements encontró que esta aproximación no escudriñaba las características más íntimas de las praderas, ya que solo aportaba una visión y por ende una composición somera de las especies de plantas presentes y mucho menos daban cuenta de los números de individuos por especie. Por esto, dispuso como forma de trabajo seleccionar áreas pequeñas y contar el número de organismos dentro de cada una, por su forma las denominó cuadrantes (quadrats en inglés), esto le permitió a la vez de cuantificar a los organismos, definir a las especies que pertenecían, usó cuadrantes de diferentes tamaños, pero favoreció el uso de cuadrantes de 1m², con este método asumía que obtenía muestras confiables, a pesar de las críticas de a este trabajo, incluso de su maestro Bessey, esta metodología convenció a otros ecólogos además porque propiciaba un procedimiento riguroso para la obtención de información ecológica en términos cuantitativos.

En 1898 Clements y su colega Pound publicaron sus experiencias y hallazgos en *"The Phytogeography of Nebraska"*, que se convirtió en un texto ordinario de botánica, en 1905 Clements describió sus métodos de investigación en *"Research Methods in Ecology"*.

Clements continuó después con sus estudios en las praderas de pastos de otras regiones del oeste de los Estados Unidos, observando que después que un área de pasto había sido perturbada, las plantas que crecían después lo hacían en un orden definido hasta que el conjunto alcanzaba una madurez máxima o estado de clímax.

Las etapas que seguía la vegetación antes de alcanzar el clímax parecían similares a las que pasa un organismo cuando crece y madura; desde este punto de vista, la comunidad vegetal podría ser análoga a un organismo individual, pero por sus dimensiones Clements lo designó como un *"superorganismo"* que es capaz de alcanzar un clímax de desarrollo.

El concepto de Clements del clímax del superorganismo dominó la ecología teórica en las primeras décadas del siglo 20, sin embargo, este concepto es rígido ya que no permite un cambio gradual en períodos largos de tiempo; también estaba convencido que las praderas de pastos desarrollaron su clímax después de la era del hielo más reciente y que continuaría hasta que se ocurriese el siguiente gran cambio climático y que cualquier disturbio de la comunidad vegetal no le restaría su capacidad de regresar a su estado previo.

En los casos que las praderas de vegetación estuvieran sujetas a usos agrícolas intensos, lejos de proponer una restauración urgente, Clements argumentaba que el entendimiento del desarrollo de las comunidades como superorganismos permitiría su manejo agrícola ayudando a los granjeros, este punto de vista se compartía por otros ecólogos coetáneos que consideraban que las sociedades humanas no tenían más elección que interferir con las comunidades vegetales, su objetivo era asegurar que esta interferencia fuera eficiente y por lo tanto benéfica.

Este punto de vista polémico fue desafiado severamente por otros ecólogos como se verá en secciones posteriores.

HENRY ALLAN GLEASON Y EL CONCEPTO INDIVIDUALISTA DE LA COMUNIDAD

El concepto de Clements de la sucesión y el clímax fue perdiendo influencia hacia la mitad del siglo 20, debido, en parte a Henry Allan Gleason (1882–1975) que propuso una alternativa que muchos ecólogos consideran más realista.

De hecho, Gleason propuso su “hipótesis individualista” por 1926 en un artículo titulado *“The Individualistic Concept of the Plant Association,”* que fue publicado en el *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, en un tiempo en el que Gleason no era muy conocido y los conceptos de Clements se encontraban en boga.

Gleason estudió la vegetación de su nativo Illinois, e inició su carrera usando los métodos desarrollados por Clements, aceptando la idea de que el clímax de la comunidad comprendía el proceso de un superorganismo. Después de un tiempo, empezó a dudar de la utilidad de las propuestas conceptuales de Clements.

Clements asumió que un clímax comunitario podía comprender a las especies adaptadas mejor al ambiente, lo que implicaba que en ese ambiente particular estarían las mismas especies en las mismas proporciones; si la vegetación fuera clareada, al paso del tiempo una comunidad similar ocuparía ese sitio.

Gleason rechazó esto, manteniendo que las comunidades vegetales varían continuamente en diferentes ambientes que a su vez también varían y en consecuencia dos comunidades difícilmente serán idénticas, esto tendría implicaciones serias en la forma de denominar a las comunidades, llamar a una comunidad “bosque de roble-arce” haría suponer que todas las comunidades con ese nombre tendrían una composición de especies idéntica, lo cual no es verdadero.

Gleason escribió lo siguiente en su escrito de 1926:

“Cada especie de vegetal es una ley en sí misma, su distribución en el espacio depende de sus peculiaridades de migración individuales y sus requerimientos ambientales. La vegetación de un área es el mero resultado de dos factores, la inmigración fortuita y fluctuante de las plantas y un ambiente igualmente variable y fluctuante”.

Gleason decía que esto estaba muy lejos de ser un superorganismo, la composición de las asociaciones de la vegetación no son nada más que coincidencias. Si en un área se elimina la vegetación, la composición de la vegetación que llega a ocupar el sitio depende de cuáles son las semillas que caen al suelo, germinan y del orden posible que tienen las plantas de arribar al lugar.

Según él, la distribución de las plantas está más cercana a ser aleatoria. Frustrado porque muchos ecólogos ignoraron sus ideas, Gleason abandonó la ecología y se convirtió en un taxónomo vegetal con alta habilidad y muy respetado por su trabajo del New York Botanical Garden.

Su hipótesis individualista provocó mucho debate en 1959 y 1960, cuando emergió la teoría evolutiva Darwiniana con el creciente entendimiento de la herencia para producir lo que conocemos como la síntesis evolutiva moderna, que fue muy influyente entre los biólogos y favoreció la propuesta de Gleason, a tal grado que

actualmente se sigue considerando con algunas variaciones, ya que se asume que la composición actual de las comunidades vegetales ha sido influida por los procesos evolutivos del pasado.

VICTOR E. SHELFORD Y LAS COMUNIDADES DE ANIMALES

Clements nunca respondió directamente a las críticas de Gleason, pero a finales de la década de 1930, se volvió menos insistente en estudiar a las comunidades como entidades individuales superorganismicas.

En *"Bio-Ecology"*, el libro que escribió Clements en coautoría con Victor E. Shelford (1877–1968) y que fue publicado en 1939, usó el termino superorganismo como un sinónimo para "un organismo complejo con un desarrollo y una estructura característicos". En *"Bio-Ecology"*, ambos autores consideraron a las comunidades animales y vegetales, además ampliaron este término para categorizar a las comunidades terrestres y acuáticas, la inclusión de los animales en este contexto fue la contribución de Shelford.

La consideración de conjuntar a las plantas y a los animales les permitió desarrollar el concepto de Bioma, usándolo en diciembre de 1916 en la reunión de la Ecological Society of America.

Shelford inició su Carrera como zoólogo, convirtiéndose en ecólogo animal por 1920, cuando empezó a aplicar los conceptos de sucesión, comunidad y clímax a las agrupaciones de especies animales. Fue este trabajo el que lanzó a la ecología animal como un campo de estudio, por eso es reconocido como el fundador de esta disciplina. Shelford también escribió otras dos obras: *"Animal Communities in temperate America as illustrated in the Chicago Region"*, publicada en 1913 y *"The Ecology of North America"*, publicada en 1963.

Contribuyó a la fundación de la Ecological Society of America (ESA) en 1915 y fue su presidente en 1916. Ayudó a compilar *"A Naturalist's Guide to the Americas"*, obra publicada bajo los auspicios de la ESA. Este trabajo intentó compilar una lista de las áreas conocidas con hábitats sin disturbios tanto en Estados Unidos como en algunas partes de América Latina. En 1946 este comité se convirtió en la Ecologists' Union, y en 1950 cambió su nombre a Nature Conservancy. Shelford también participó en el establecimiento de la Grassland Research Foundation en 1939 y fue su presidente en 1956.

El Zoólogo y ecólogo norteamericano George Evelyn Hutchinson (1903–1991), fue uno de los primeros ecólogos en sugerir que una comunidad de plantas y animales puede ser considerada como un *sistema* regulado por las interacciones entre sus componentes.

Un sistema es un grupo de objetos que trabajan juntos de una forma tal que si uno de los objetos cambia afecta al resto de los integrantes del grupo. Una máquina es un sistema, todos sus componentes son diferentes y si uno de ellos falla, la máquina pierde su potencia o se detiene.

El control dentro del sistema se ejerce mediante retroalimentadores, por ejemplo, si el número de presas se incrementa, los depredadores tendrán más alimento y sus números tenderán a aumentar, los depredadores disminuirán el número de presas, la reducción de este grupo causará una reducción proporcional en el número de depredadores.

Este conjunto de eventos constituye una retroalimentación, en este caso una de tipo negativo ya que restaura la situación original, en la sugerencia que una comunidad biológica puede constituir un sistema, Hutchinson puede haber revivido el concepto de Clements del superorganismo y sustentar la base de la hipótesis de la Gaia propuesta por James Lovelock, sin embargo, la propuesta del sistema fue mucho más mecanicista.

ALFRED J. LOTKA Y VITO VOLTERRA, LOS MATEMÁTICOS DE LAS RELACIONES ECOLÓGICAS

Los matemáticos han estudiado los cambios en las poblaciones animales desde la década de 1920. El físico-químico norteamericano Alfred J. Lotka (1880–1949) escribió un libro sobre las matemáticas de las poblaciones llamado *“Elements of Physical Biology”* (*Elementos de Biología Física*), que fue publicado en 1925 y reimpresso en 1956 con un nuevo título: *“Elements of Mathematical Biology”*.

La idea de Lotka fue que el proceso de la evolución por la selección natural podría ser descrita matemáticamente de la misma forma que una ley física.

Pensaba que esto podía ser posible ya que el alimento y otros recursos representan energía -los valores del alimento son medidos en julios o en calorías, que son unidades de energía- y la selección natural favorece a los individuos más eficientes para obtener energía, utilizándose metabólicamente y dejando una proporción disponible para su progenie.

Trabajando en esta idea, Lotka exploró otros problemas relacionados, incluyendo balances de energía, las matemáticas del crecimiento y la reproducción, el equilibrio de los organismos con el ambiente y la operación de los sentidos.

Hasta 1926 fue que las ideas de Lotka llamaron la atención del físico y matemático italiano Vito Volterra (1860–1940) quien estaba interesado en el problema de calcular el tamaño de las poblaciones pescables y el tamaño de la captura que puede realizar una flota pesquera sin agotar a la población. Veía a los botes pesqueros como depredadores efectivos lo que le posibilita expresar matemáticamente los cálculos

de la relación entre los tamaños de la población de presas y sus depredadores. Su matemática se basó parcialmente en la teoría física que gobierna la frecuencia con la cual las moléculas en un gas colisionan con otras.

Volterra también aplicó una ecuación formulada en 1846 por el matemático belga Pierre François Verhulst (1804–1849) y que fue redescubierta en 1920 por el genetista poblacional norteamericano Raymond Pearl (1879–1940).

La ecuación de Verhulst, llamada ahora ecuación logística, hizo posible calcular la tasa a la cual una población crece hasta alcanzar la *capacidad de carga* –el número más grande de individuos que soporta un ambiente con recursos limitados– (K).

Cuando las ecuaciones de Lotka y Volterra se combinaron, fue posible describir la competencia entre especies que viven en las mismas áreas y con requerimientos ambientales similares, también describen las relaciones simples entre los depredadores y sus presas, estas ecuaciones se probaron por el biólogo ruso G. F. Gause, pocos años después derivando en el principio de exclusión competitiva.

ROBERT H. MacArthur Y LA PRUEBA DE LAS HIPÓTESIS

Uno de los estudiantes de G. E. Hutchinson, Robert MacArthur (1930–1972), desarrolló esa propuesta e inició otra nueva disciplina: la Ecología de las Comunidades. La Ecología de las Comunidades es el estudio de las relaciones dentro de la comunidad biológica, clasificándose y arreglándose en orden de terminar cuáles de sus miembros interactúan. En 1958, para su investigación doctoral, MacArthur mostró que cinco especies de pájaros insectívoros de las coníferas de Nueva York se alimentaron en diferentes partes de los árboles. Aportando evidencias directas del principio de exclusión competitiva, al demostrar que las especies similares no necesariamente se encuentran en competencia.

MacArthur también desarrolló los modelos matemáticos de las relaciones ecológicas, trayendo mayor precisión a los procesos que antes se mostraban más como ideas generales.

En todos sus estudios MacArthur enfatizó la importancia de probar estadísticamente a las hipótesis, esto es, que un experimentador busque determinar si los datos experimentales confirman una interpretación particular “ n ” que empezaría asumiendo lo opuesto al resultado esperado, lo que llamamos *hipótesis nula*.

Las implicaciones de la hipótesis nula se comparan a los datos experimentales, si los datos apoyan la hipótesis nula, entonces es *probable* que esta hipótesis nula sea correcta; si no lo hacen, se pueden invocar otros factores que la expliquen. Después de esta propuesta otros matemáticos desarrollaron otras aproximaciones, que se han convertido en uno de los procedimientos más comunes para la evaluación de los datos ecológicos.

Los modelos matemáticos de MacArthur lo colocaron como uno de los ecólogos más influyentes de su generación, provocando que se encontraran respuestas a preguntas sin resolver, como si el tamaño de una población era determinado por el ambiente físico o por la competencia por recursos, o si el nicho que ocupa una especie cambia conforme los ocupantes se adaptan a su entorno.

En su propuesta, el nicho es la función que realiza un organismo en su ambiente, incluyendo la frecuencia en la que está presente en un hábitat en particular y la cantidad de tiempo que pasa en este y los recursos que utiliza.

MacArthur contribuyó en la formulación de la teoría del forrajeo óptimo, que propone que como un animal se mueve a través de su territorio para buscar comida, toma decisiones para maximizar la cantidad de alimento que encuentra o que mejora la eficiencia de forrajeo de alguna otra forma.

MacArthur también colaboró con el ecólogo E. O. Wilson en el avance de la teoría de la Biogeografía de Islas, que establece que el número de especies en una isla está determinado por la inmigración de las tierras continentales más cercanas y por la extinción; cuando estos procesos alcanzan el equilibrio, el número total de especies permanece constante, aunque cambie la composición de las comunidades.

La teoría se consideró después como simplista, y se fue dejando de lado, pero recobró interés cuando se publicó su libro "*The Theory of Island Biogeography*" (1967), en el que explica lo que sucede en un terreno que sufre cambios por fragmentación de los hábitats y que surge como una base para la planeación de reservas naturales.

RAYMOND LINDEMAN, ENERGÍA Y EFICIENCIA

En 1942, pocos meses antes de la muerte del autor, la revista científica *Ecology* publicó un artículo del ecólogo norteamericano Raymond Lindeman (1915–1942), titulado "*The Trophic–Dynamic Aspect of Ecology*." Este escrito final analiza el flujo de energía a través de la comunidad; las plantas verdes manufacturan carbohidratos por fotosíntesis, y los carbohidratos representan energía química.

Los animales herbívoros consumen plantas verdes y asimilan una proporción de esa energía, los animales carnívoros se alimentan de los herbívoros, asimilando una proporción de la energía y los herbívoros la obtienen de su alimento.

Lindeman encontró una manera de rastrear el flujo de energía y calcular la proporción que pasa de cada nivel trófico al siguiente. También mostró una forma de reunir a la autoecología y a la sinecología, reconociendo que la luz solar es la fuente original de la energía total disponible para los organismos, la fotosíntesis de las plantas captura una cantidad medible de esa energía solar, la que usan para conducir su metabolismo –crecer y reparar tejidos, la producción de flores, frutos,

semillas- la proporción de energía absorbida que se acumula en las partes comestibles de los tejidos vegetales como hojas y tallos se llama producción, por los que los organismos fotosintetizadores se denominan productores. Los consumidores de los productores se llaman consumidores primarios, los que utilizan a los herbívoros se les ubica como consumidores secundarios y a los que depredan a estos se les llama consumidores terciarios o carnívoros estrictos.

Los consumidores usan mucha de la energía que absorben para mantener su metabolismo, todos los organismos, productores y consumidores, liberan energía por el proceso de respiración, que en este contexto se debe entender como el proceso reverso a la fotosíntesis, en otras palabras, es una secuencia de reacciones químicas mediante las cuales los organismos oxidan los compuestos orgánicos con la liberación de energía.

Cuando los organismos producen desechos y mueren finalmente, la materia orgánica muerta aporta energía y alimento a otra jerarquía de organismos. Los procesos de fotosíntesis y respiración envuelven la absorción y liberación de energía; usando a la energía como una medida, Lindeman hizo posible medir la economía y la eficiencia energética de las relaciones entre los niveles tróficos de los ecosistemas. Este fue un gran parteaguas en la descripción, análisis y estudio de los procesos ecológicos de los ecosistemas.

Lindeman publicó sólo cinco artículos científicos antes de fallecer a los 27 años de una forma de hepatitis rara, el artículo que aludimos en esta sección se publicó de forma póstumamente.

LOS HERMANOS ODUM Y LA ECOLOGÍA DE LOS SISTEMAS

El aire contiene dióxido de carbono, las plantas verdes y ciertas bacterias absorben este gas del aire y usan el carbono para sintetizar carbohidratos, que son consumidos por los animales, tanto las plantas como los animales respiran y como un proceso inverso a la fotosíntesis que regresa el dióxido de carbono al aire, otra forma de reintegrar dióxido de carbono al aire es mediante la combustión de compuestos formados por carbono.

Los gases liberados por la erupción de los volcanes son la fuente original de todo el dióxido de carbono y una proporción del carbono en los organismos acuáticos se deposita en los lechos marinos donde se reúne con los sedimentos y eventualmente se convierte en algún tipo de roca sedimentaria –llamadas rocas carbonatadas, por supuesto por su contenido de carbono- así este elemento se recircula incesantemente entre las rocas, el aire, el agua y los organismos vivos.

Varios elementos inorgánicos que son utilizados por las plantas y los animales como nutrientes también se reciclan de esta manera en los procesos denominados

ciclos biogeoquímicos, Howard Thomas Odum (1924–2002), otro de los estudiantes graduados de George Evelyn Hutchinson en Yale University, fue el primer científico que dirigió su atención a los ciclos de los elementos.

La tesis doctoral de Odum escrita en 1950, se tituló “*The Biogeochemistry of Strontium: With Discussion on the Ecological Integration of Elements*”. El estudio de Odum sobre la biogeoquímica del estroncio tuvo implicaciones profundas porque mostró que las comunidades de plantas y animales, hasta ese momento vistas como entidades aisladas, necesariamente se enlazaban mediante la circulación de los elementos químicos entre el suelo, el aire y el agua de todo el mundo; enlazando a los ecosistemas hasta concebir a un solo gran ecosistema ubicado en el planeta entero, concepto unitario que agrupa a todos los seres vivos propuesto originalmente por Vernadsky.

Howard Odum tomó la idea de Vernadsky, aplicándola en la ecología de los sistemas, la rama de la ecología que estudia a los ecosistemas como sistemas complejos regulados por retroalimentaciones y con características que no pueden ser deducidos a partir del estudio de los componentes individuales del sistema.

Odum estuvo más interesado en la transferencia de energía de un organismo a otro a través de los ecosistemas, representando estas relaciones con diagramas de flujo similares a los usados en otras ramas de estudio de los sistemas generales.

Odum también desarrolló un conjunto de símbolos que representan “estados” del flujo de energía como fuente, almacén, consumo e interacción, que se ubican en el flujo de energía a través del sistema, las líneas que relacionaban a los símbolos trazaron las rutas del flujo de energía completo, en su libro de 1953 “*Fundamentals of Ecology*” (*Fundamentos de Ecología*) agregó un CAPÍTULO a lo que llamó energética, exclusivamente para tratar este proceso ecosistémico.

Mientras Howard Odum escribió su CAPÍTULO sobre energética, su hermano Eugene Odum (1913–2002), escribió el resto del libro, en este Eugene promovió el uso del término *ecosistema*, que había sido propuesto anteriormente por el ecólogo británico Arthur G. Tansley, e hizo de este término el objeto central de su visión sobre la ecología. Se puede afirmar que el sello de este grupo de trabajo radica en la forma de explicar la estructura y sobre todo la función de la Naturaleza a partir de la comprensión del trabajo natural de los ecosistemas.

A partir de la década de 1950, los hermanos Odum participaron activamente como científicos expertos en estudios sobre el efecto del desarrollo de armas nucleares, convirtiéndose también en activistas ambientales, calificativo que si bien no aceptaban si señalaba adecuadamente su participación en la solución de los problemas ambientales con una perspectiva ecológica indispensable, sobre todo los que se generaban por las relaciones de las sociedades humanas con la Naturaleza.

VLADIMIR VERNADSKY Y EL DESCUBRIMIENTO DE LA BIOSFERA

Originalmente, Vernadsky se formó como científico del suelo, minerólogo, cristalógrafo y geoquímico; fue fundador de la geoquímica, biogeoquímica y radiogeología, pero su contribución principal a la ciencia llegó con su trabajo sobre la biósfera – la parte de la Tierra en la cual interaccionan los organismos vivos para formar un sistema de estado estable; un ecosistema que se extiende sobre el planeta entero.

El describió esto como “*Biosfera*”, aunque Vernadsky no acuñó el término biosfera, este se usó por primera vez por el geólogo austriaco Eduard Suess (1831–1914), con quién tuvo una reunión en 1911, Suess no expandió ni desarrolló el concepto. La palabra significa “esfera de vida”, Vernadsky definió sus fronteras, que incluyen todos los océanos, lagos y ríos, en la atmósfera hasta una altura de 32 Km y en la parte superior de la corteza terrestre a una profundidad de 5 a 6 Km, donde las bacterias son capaces de vivir en trampas de petróleo y humedad subterránea.

Pero la Biosfera es mucho más que la mera región donde son encontrados los seres vivos; como biogeoquímico Vernadsky estudió los ciclos de los elementos entre la tierra, la atmósfera y los océanos, en procesos que involucran a los seres vivos que utilizan a estos elementos como nutrientes esenciales.

El reconoce que el oxígeno, el nitrógeno y el dióxido de carbono en la atmósfera son el resultado de procesos biológicos, lo que le llevó a concluir que los organismos vivos ejercen un efecto profundo en la Tierra inanimada, James Lovelock retoma esta idea y la plasma en su hipótesis sobre la Gaia (Lovelock, 1972; Lovelock y Margulis, 1974).

Vernadsky vio a la emergencia de la Biosfera como un proceso evolutivo; en un inicio la Tierra estuvo carente de vida, en una etapa llamada Geosfera, la aparición de los seres vivos y la colonización del planeta produjeron la Biosfera, pero el proceso no concluyó aquí porque cuando las sociedades humanas se expandieron sobre la Tierra, empezaron a transformar a la Biosfera.

Vernadsky orientó esta idea hacia el desarrollo de la *noósfera*, que incluye la esfera interactiva del pensamiento humano (no-ó = nous= mente), el propuso que la noósfera emerge cuando los científicos son capaces de crear átomos alterando a los elementos químicos y de su capacidad para encontrar aplicaciones en la producción de nuevos recursos. Esta llamativa propuesta no pierde su vigencia en el mundo actual que demanda soluciones a los problemas que aquejan a la naturaleza y por ende a la Humanidad.

El progreso alcanzado en los estudios de historia natural durante el siglo XVIII, hizo posible separar las ciencias ecológicas como la biogeografía, la biología evolutiva, parasitología, entomología y limnología, de tal forma que estas emergieran durante el siguiente siglo, esbozando los inicios de las ciencias ecológicas aplicadas como las ciencias agrícolas, forestales, la entomología aplicada y la biología de las pesquerías, entre muchos más campos de estudio ecológico.

1.2 Objeto (s) de estudio de la Ecología

1.2.1 Niveles de organización, propiedades emergentes

La ecología como ciencia biológica investiga principalmente las interacciones de los organismos con el ambiente, en este punto se establece que el enfoque que se mantendrá en este escrito es el de reconocer que de los niveles de organización de la materia, a la ecología le corresponde estudiar a aquellos que rebasan el nivel de organismo; entendiendo que lo “viviente” en la Naturaleza puede verse como una jerarquía biológica que comienza con partículas subcelulares y continúa a través de células, tejidos y órganos, luego aparatos, de sistemas a individuo, ya en el ámbito del estudio de las interacciones de los organismos con el ambiente surgen los siguientes tres niveles: **la población** (formado por individuos de la misma especie), **la comunidad** (compuesta por un número de poblaciones de especies), **los ecosistemas** para aterrizar en el nivel de organización en el que se concentran y suceden todas estas interacciones: **la Biósfera**.

Vistos como sistemas biológicos, estos niveles de organización ecológica se pueden analizar a partir de la integración que mantienen consigo mismos y con los niveles previos y posteriores.

Los procesos biológicos en y entre cada nivel de integración involucran al nivel inmediatamente inferior que producen características que contribuyen a constituir al nivel siguiente, sin embargo, los procesos que suceden en cada nivel son particulares y no fundamentan ni explican al nivel previo o al superior, es decir no reducen la explicación de estos sistemas explicando a uno solo; pero si constituyen una jerarquía natural que aumenta en organización y complejidad.

Cada nivel de integración implica un conjunto distinto de atributos y problemas de trabajo. Por ejemplo, una población presenta una densidad (el número de individuos por unidad de área o volumen) que como una propiedad que no es atribuible a un solo individuo sino a todo su conjunto y a la forma en la que ocupan un hábitat.

Una comunidad presenta la riqueza de especies (en su acepción más simple como el número de especies, más bien de poblaciones de diferentes especies), pero como un atributo ecológico no tiene sentido cuando se pretende aplicar a nivel de población.

En general, un científico o científica que se ocupa de investigar a un nivel de integración determinado busca explicaciones desde los niveles inferiores de integración. Por ejemplo, para comprender por qué alguna de las numerosas poblaciones que están amenazadas o en peligro de extinción ha reducido su abundancia, su área de distribución o sus hábitats particulares, cualquier profesional de la ecología obtendría información sobre los números de nacimientos y las causas de muerte de los individuos, analizaría estos datos y propondría alguna explicación.

Pero concluir una investigación de esta manera es simplificar la investigación a una o unas posibles causas que expliquen la consecuencia. Se dice que este enfoque de la ciencia es **reduccionista**, porque reduce un problema de un nivel de integración superior a una serie de problemas, calificados como similares en los niveles inferiores, para luego generalizar el problema y su solución o soluciones a cualquier nivel de integración superior o inferior.

La alternativa que se propone aquí, es que el enfoque de la ciencia ecológica es **holístico**, desde esta visión se abarcan diferentes niveles de complejidad. El empleo de este enfoque puede incluir el análisis de las consecuencias de estos descensos en la comunidad ecológica en la que conviven las especies amenazadas, incluida sus interacciones con otros organismos, digamos depredadores, posibles patógenos, la composición de la dieta de la especie de interés además de caracterizar si algún factor abiótico del ambiente la afectó directa o indirectamente.

Gran parte de la biología moderna es altamente reduccionista, por ejemplo, se averigua de manera prioritaria la base química de la vida, pero no sorprende lo que realmente conocemos de esta conforme aumenta el nivel de integración.

Sabemos mucho sobre los niveles moleculares y celulares de los organismos, también sabemos mucho sobre órganos, sistemas de órganos y organismos completos, más de aquellos que tienen algún nivel de interés para la humanidad. Sin embargo, sabemos relativamente poco sobre las poblaciones y menos aún sobre las comunidades y ecosistemas, este es un hecho que apenas escudriñamos cuando queremos explicar cómo funciona la Biósfera.

Contrasta lo que ya sabemos del genoma humano, proyecto al que se invirtieron muchos recursos financieros y de esfuerzo humano, pero actualmente no sabemos cuántas especies hay en la Biósfera, como las diezmos, cuáles son sus procesos biológicos y ecológicos trascendentes o cuantas especies efectivamente persisten en la Naturaleza.

En ecología, nos ocupamos principalmente de los siguientes niveles de integración o de organización:

A nivel del organismo, la ecología se ocupa de cómo los individuos se ven afectados por (y cómo afectan) a su entorno, es necesario reconocer que un solo ente individual no presenta todas las gamas de respuesta a los diferentes factores del ambiente, por esta causa, la ecología enfatiza su estudio a partir del siguiente nivel de organización.

Así, las poblaciones son grupos de individuos de una misma especie, en este nivel, las investigaciones ecológicas se ocupan de la presencia o ausencia de las poblaciones de especies particulares, su abundancia o rareza y las tendencias y fluctuaciones en sus números, tanto espacial como temporalmente, estableciendo como crecen, cuáles factores del ambiente las regulan determinando su tamaño y densidad.

La ecología de poblaciones incluye las interacciones con otras especies y las que ocurren dentro de la propia población como la competencia, depredación, mutualismo, comensalismo, herbivoría y parasitismo. Se reconoce que una buena parte de la teoría ecológica está construida sobre la ecología poblacional, esto permite conocer los factores ambientales que las impactan, lo que contribuye a conservar y manejar a las que consideramos amenazadas, perturbadas, para detener los procesos de extinción y controlar a las cada vez más numerosas especies invasoras.

Las comunidades son grupos de especies que viven en la misma área o hábitat, por lo que incluyen números variados de poblaciones, a este nivel los estudios se ocupan de la composición y organización de la comunidades ecológicas; de los factores ambientales que afectan el número de especies y su abundancia en un área determinada, a caracterizar los modos de vida de las especies, sus funciones ecológicas; a analizar los patrones en los que la composición de especies cambian en el espacio y el tiempo; analizar estos patrones en diferentes escalas espaciales, a distinguir cómo estas variaciones se manifiestan en patrones regionales como los biomas. En las décadas pasadas se ha incorporado a la biodiversidad como un parámetro que explica estos patrones y permite explicar cómo las comunidades son capaces de resistir las perturbaciones ambientales naturales y las causadas por actividades humanas.

Los ecosistemas son el siguiente nivel de integración, consisten en comunidades y su entorno físico-químico, aquí se analizan las rutas de la energía y la materia a medida que se mueven entre los seres vivos y elementos no vivos.

La comprensión de este flujo de energía y nutrientes requiere del conocimiento de las relaciones de alimentación entre especies, involucrando a las cadenas alimenticias y las mallas tróficas. A analizar cómo los flujos de energía se desplazan a través de los componentes del ecosistema, de cómo elementos químicos importantes como el nitrógeno y el fósforo se reciclan constantemente entre los componentes abióticos y bióticos, buscando la explicación del funcionamiento ecosistémico como una unidad natural que en los tiempos actuales se ven afectadas por la adición artificial de diferentes tipos de elementos físicos químicos y biológicos, además de analizar las maneras en las que los ecosistemas responden, sin hacer de lado la valuación de las utilidades de estos procesos para la humanidad en los llamados servicios ecosistémicos.

Todos los niveles de organización se pueden integrar en el que puede ser visto como el ecosistema del planeta Tierra: La Biósfera, algunas veces llamada ecosfera.

Los procesos ecológicos que ocurren en cada nivel de organización ecológica son reconocidos por su amplia variedad de interrelaciones en diferentes niveles de complejidad. Se propone que para estructuras diversas este tipo de procesos es importante adoptar un enfoque adecuado para no perder de vista elementos esenciales, como son los procesos que describen y caracterizan a las poblaciones, las comunidades y los ecosistemas naturales.

Estos niveles presentan gran número y variedad de componentes, múltiples interacciones específicas y diversidad de propiedades estructurales y funcionales que dependen de las características específicas del nivel ecológico que se investiga, de su estado en el momento o de la escala en la que se observan los procesos (Reuter et al., 2005).

Desde el enfoque holista de la ecología, se utilizan las propiedades emergentes de cada nivel de organización ecológico para hacer diferentes aproximaciones de investigación.

Las propiedades emergentes se definen como *"atributo propio del nivel de organización referido, que le distingue de otros niveles de organización"* además sus variaciones diferencian a elementos del mismo nivel organización.

Así, cada nivel de organización ecológico expone varios tópicos de investigación según diferentes contextos científicos, que a su vez se establecen a partir de las propiedades emergentes de cada nivel de organización.

Las características de un nivel de organización son el resultado de las interacciones entre los elementos que lo constituyen; dichas características se conocen a través de sus partes y también por los procesos que los relacionan.

Los procesos que ocurren en cada nivel de organización como parte de un sistema complejo cumplen el papel de interfase entre ese nivel inferior y el inmediato superior, entonces cada nivel presenta sus propias propiedades emergentes, algunas de las cuales se presentan en la Tabla 1.2 y que serán revisadas a partir del siguiente CAPITULO.

Tabla 1.2. Algunas propiedades emergentes de los niveles de organización ecológica.

Nivel de organización	Propiedades emergentes
Poblaciones	Crecimiento, Estructura por edades, Reproducción, Tasas de Natalidad, mortalidad, sobrevivencia, patrón de disposición espacial, territorialidad, relaciones intrapoblacionales (competencia, canibalismo), interpoblacionales (depredación, competencia, mutualismo)
Comunidades	Patrón horizontal, patrón vertical, riqueza de especies, dominancia, diversidad, equitatividad, sucesión, estabilidad
Ecosistema	Producción primaria, producción secundaria, ciclos biogeoquímicos, fuentes de energía, mallas tróficas, eficiencia ecológica, grupos tróficos, subsidios, integridad

1.3.2 ¿Podemos hablar de Ecología “pura”?

Actualmente muchas disciplinas científicas se superponen parcialmente en sus campos de estudio a diferentes niveles de integración. Por ejemplo, para la ecología se reconoce que se superpone con disciplinas biológicas como la genética, la fisiología, la etología entre otras, incluso con otras como la meteorología, la geología, la geoquímica y cuando incorporamos los contextos humanos en los procesos ecológicos debemos abordar principios y contextos metodológicos propios de las ciencias sociales.

Los ecólogos se preocupan no solo por las comunidades, las poblaciones, ecosistemas, la biósfera y la naturaleza, actualmente es indudable que el contexto natural de la ecología debe incluir la influencia humana en el ambiente y de cómo para nuestro beneficio lo hemos artificializado con entornos modificados como plantaciones forestales, campos con diferentes cultivos, incluso con reservas naturales que al ser intervenidas por los humanos son estimuladas de forma extraordinaria; además de lidiar cotidianamente con las consecuencias de la influencia humana en la naturaleza mediante procesos de contaminación, sobreexplotación de recursos y el cambio climático.

La influencia de la humanidad es tan extendida y persistente que es difícil encontrar un sitio en el planeta que no esté afectado por la actividad directa o indirecta de la humanidad, Ellis et al. (2021) señalan que la influencia humana desde

hace 12,000 años, solo deja menos del 25% de la superficie terrestre sin algún nivel de influencia antrópica y de unos 1500 años a la fecha se han agudizado los efectos de esta transformación.

Los problemas ambientales que nos aquejan regional y globalmente, por lo menos en el papel están en la agenda política escritorio de los tomadores de decisiones, es indudable que los ecólogos tienen un papel fundamental porque las metas para un futuro sostenible dependen de la comprensión ecológica de la naturaleza y de nuestra capacidad para predecir o producir resultados bajo diferentes escenarios.

Porque los humanos somos una especie muy dominante en el planeta y la ecología también se ocupa las interacciones de la humanidad con toda la biota y los factores bióticos del ambiente, pero no podemos olvidar que además de aprender sobre los sistemas ecológicos debemos integrar conocimientos de otras ciencias para resolver los problemas graves que se ciernen a mediano y largo plazo sobre nuestra propia existencia, por esto de todas las ciencias, la ecología es una de las más cercanas a nuestra vida cotidiana, por las diferentes maneras que afectamos el entorno natural, solo imaginemos las actividades diarias de más de 7 mil millones de personas en una demografía humana en crecimiento incesante y sus repercusiones en los procesos naturales.

Stilling (2011) propuso que han surgido cuatro tópicos actuales que merecen la mayor atención por parte de la humanidad, estos, como veremos a casi quince años, varios han escalado el nivel de preocupación y requieren atención inmediata por las posibles repercusiones para la existencia de la especie humana, así de graves pueden ser las consecuencias.

El orden de los procesos no establece su importancia, todos lo son; para empezar la crisis de la biodiversidad señala que por las actividades humanas de los últimos milenios la tasa de extinción de especies actuales se ha incrementado, las evidencias indican, con poca discusión, que, en los últimos 100 años, aproximadamente 20 especies de mamíferos y más de 40 especies de aves se han extinguido (Bolam et al. 2021).

El término crisis de la biodiversidad se ha establecido para describir esta pérdida elevada de especies, muchos científicos afirman que la tasa de pérdida de especies es más alta ahora que durante la mayor parte de la historia geológica y una de las causas principales es el crecimiento de la población humana que al expandir su colonización ha propiciado el aumento de extinciones de otras especies (Cafaro et al. 2022). Sin hacer una declaración dramática, los seres humanos somos responsables de muchos elementos del cambio global, actualmente la ecología también se ocupa de investigar cómo las actividades humanas en la extinción de especies y cómo son los procesos principales que la provocan como la destrucción de los hábitats, la introducción de especies, la sobreexplotación de las que son recursos y los variados procesos de contaminación (Hogue y Breon 2022; Fig. 1.2).

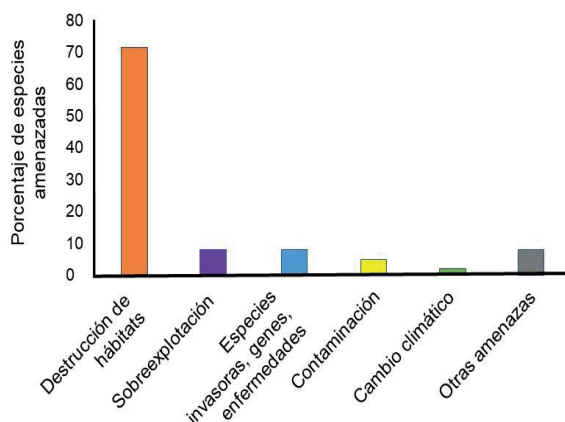


Fig. 1.2. Porcentaje de especies amenazadas, cada categoría de amenaza es el factor principal que provoca la extinción de la especie. Las especies en las que no se pudieron identificar amenazas dominantes claras se enumeran como amenazas múltiples. La suma de porcentajes de todas las categorías es igual al 100%. (Tomado y modificado de IUCN, 2019).

La destrucción del hábitat incluye la deforestación, la conversión de hábitats naturales a suelos de uso agrícolas, para urbanización, el drenaje de humedales para uso turístico variado, canalización, minería a cielo abierto, canteras, construcción de presas, entre otras formas de transformación de los espacios naturales y muchas otras formas de modificación de la tierra.

La deforestación entendida como la conversión de áreas boscosas en no boscosas, es una de las principales causas de la extinción de especies. Alrededor de un tercio de la superficie terrestre del mundo está cubierta de bosques y gran parte de esta área está en riesgo de deforestación. Si bien los bosques tropicales son probablemente los más amenazados, con tasas de deforestación en África, América del Sur y Asia que varían entre el 0.6% y el 0.9% anual, la destrucción de los bosques es un fenómeno mundial.

Pero la deforestación no es la única forma de destrucción del hábitat, desde 1945 se ha convertido más suelo a la agricultura que en los siglos XVIII y XIX juntos, esta se considera la principal causa de pérdida de la biodiversidad (Cabernard, et al. 2024). La erosión de la tierra para plantar cultivos agrícolas puede crear erosión del suelo, aumento de las inundaciones, disminución de la fertilidad del suelo, aumento de la sedimentación en los ríos y desertificación. Mientras que la superficie media de tierra cultivada en todo el mundo es de alrededor del 12%, con un 26% adicional dedicado a los pastizales, esta cantidad varía sustancialmente entre regiones. Los humedales también se han drenado con fines agrícolas y se han rellenado para el desarrollo urbano o industrial. La urbanización, el desarrollo de ciudades en áreas previamente naturales o agrícolas, es el tipo de uso de la tierra más ejercido por el hombre, de más rápido crecimiento en todo el mundo y devasta los suelos más severamente que prácticamente cualquier otra forma de degradación de los hábitats (Fig. 1.3).

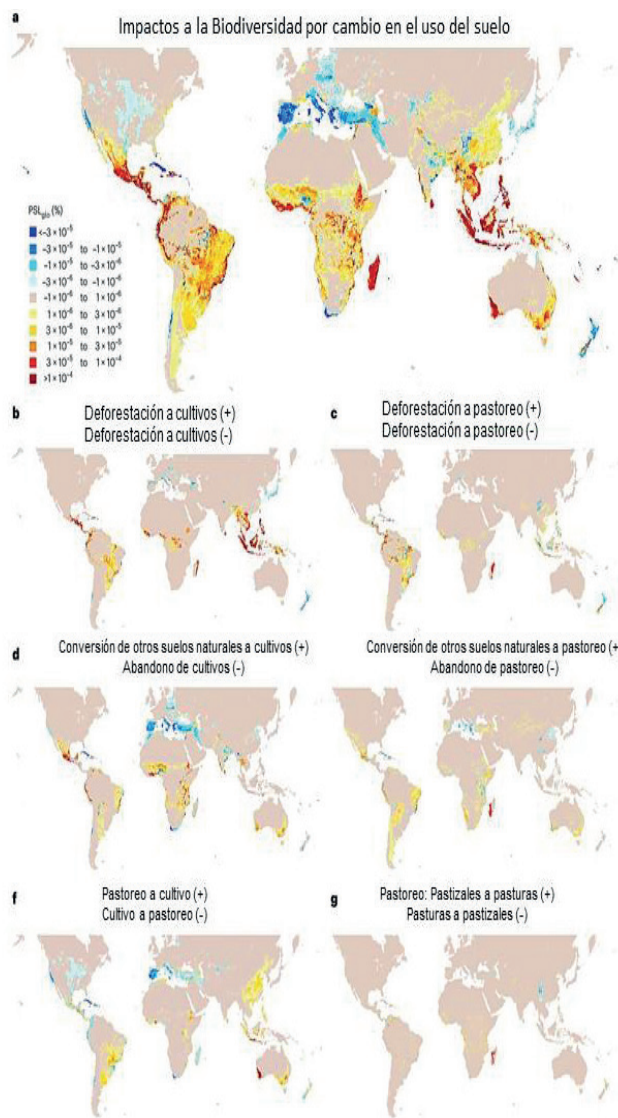


Fig. 1.3. **a**. Total. **b** - **g**, conversión terrestre a una resolución de arco de 15 minutos (~28 km). La conversión al uso del suelo urbano se incluye en **a**. Los datos de conversión de suelos se toman del conjunto de datos LUH2 (Hurt, et al. 2020; Chini et al. 2021) <https://www.nature.com/articles/s41893-024-01433-4/figures/1> - ref-CR22 <https://www.nature.com/articles/s41893-024-01433-4-ref-CR23>. Los impactos en la biodiversidad se evalúan en porcentajes de pérdida potencial mundial de especies (PSL_{glo} por sus siglas en inglés) sobre la base de los factores de impacto específicos de la ecorregión (Olson et al. 2001) del PNUMA-SETAC <https://www.nature.com/articles/s41893-024-01433-4-ref-CR9>. Los porcentajes positivos se refieren a aumentos en los impactos en la biodiversidad, mientras que los valores negativos se refieren a disminuciones en los impactos en la biodiversidad.

Las especies introducidas son aquellas especies trasladadas por los humanos desde una ubicación nativa a otra ubicación, con diferentes fines, sea para cultivo, control de plagas y con uno ornamental, este grupo incluye a las especies que son transportadas involuntariamente a través del movimiento de carga por cualquier medio de transporte. Independientemente de la forma de desplazamiento, algunas especies introducidas se convierten en **especies invasoras**, que logran propagarse en los hábitats que ocupan, compitiendo las especies nativas por espacio y recursos, en otros casos pueden ser tan voraces que depredan intensamente a estas especies, disminuyendo su abundancia y con posibles efectos en la dinámica trófica de los ecosistemas (Capdevila-Argüelles *et al.*, 2013).

Otros efectos de las especies invasoras sobre las especies nativas es que pueden producir hibridación reproductiva contaminando su genoma, la modificación de los hábitats, actuando como reservorio o vectores de patógenos, por eso las especies invasoras son consideradas como la segunda causa de pérdida de biodiversidad en el mundo a un nivel tal que en el caso de las extinciones de peces se estima que entre el 48 y 62% se deben exclusivamente a especies invasoras (Pimentel *et al.*, 2000, citado en Mendoza y Koleff, 2014).

Con base en información de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio) de México, hasta 2016 se reportaron en nuestro país 1 462 especies invasoras nativas y no nativas, las más numerosas son las plantas, con 60.4% (883 especies); 9.2% de las especies invasoras corresponde a invertebrados (135 especies), 7.9% a peces y algas (cada uno con 115 especies), 7.2% a artrópodos (105 especies) y 3.7% a reptiles (55 especies; Fig 1.4).

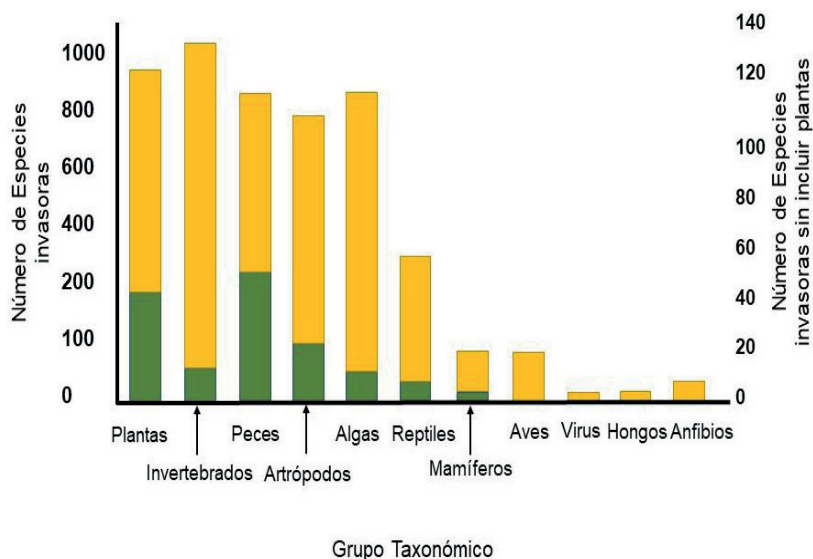


Fig. 1.4. Números de especies invasoras por grupo taxonómico. Nativas se refiere a especies mexicanas que se comportan como invasoras y no nativas indica que la especie es exótica en México. (Tomado y modificado de: Coordinación de Información y Servicios Externos, Conabio. México. 2017). <https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe18/tema/cap4.html>.

Un tercer gran problema que los estudios ecológicos deben contribuir a solucionar es la disminución de las poblaciones que como recursos se explotan directamente e incluso indirectamente como ocurre en pesquerías que además de capturar a las especies de interés u objetivo también atrapan incidentalmente a cientos de otras especies como sucede con la llamada fauna de acompañamiento del camarón que tan solo en el Golfo de México arrastra a más de 330 especies de peces (Chávez-López y Morán-Silva 2019) y números desconocidos de otros grupos de invertebrados.

En México, destacan grupos como las ballenas, los peces, venados, cactus, orquídeas, que por su aprecio económico se encuentran en alguna categoría de riesgo incluso en peligro de extinción. Estudios ecológicos precisos deben refinar el conocimiento de estas poblaciones porque difieren su nivel de vulnerabilidad debido a sus características biológicas como: distribución restringida, abundancia baja, tasa alta de mortalidad, tasa reproductiva baja, entre otras.

Se reconoce que la cacería, tala, pesca, comercio ilegal de especies son de las principales acciones humanas que afectan a las especies sobreexplotadas, con acciones económicas ilegales cuyos participantes incluidos los diferentes niveles de autoridad, los compradores de organismos y consumidores de productos ilegales son cómplices de la sobreexplotación.

Con base en la información de la NOM-059-SEMARNAT-2010 mexicana, más de 2,600 especies se califican con necesidad de algún tipo de protección, 535 están en peligro de extinción, 912 amenazadas y 1183 bajo protección especial; la flora es el grupo taxonómico con el mayor número de especies en riesgo; en los grupos animales los vertebrados cerca de 1500 especies están clasificadas con algún nivel de peligro a su existencia, de estos los reptiles (443), aves (392), mamíferos (291) y anfibios (194) están en mayor riesgo (Tabla 1.3).

Tabla 1.3. Grupos bióticos con mayor número de especies de flora y fauna listadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010.

Familia o grupos	Número de especies NOM-059
Plantas	987
Aves	443
Reptiles	392
Mamíferos	291
Peces	204
Anfibios	194
Invertebrados	49
Hongos	46
Total	2,606

Un conjunto de problemas ambientales que merecen atención constante son los procesos de contaminación. Los contaminantes del ambiente incluyen elementos físicos, químicos y biológicos como las especies invasoras que ya mencionamos. El uso de los hidrocarburos, la tecnología que se ha desarrollado para su utilización desde el siglo XVIII, sigue produciendo alteraciones en los procesos edafológicos, hidrológicos y atmosféricos.

Los contaminantes liberados al ambiente incluyen gases como el monóxido y el bióxido de carbono, dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno, junto con el metano provienen de la combustión de combustibles fósiles y son de los llamados gases de efecto invernadero que han provocado el calentamiento de la atmósfera en los últimos 200 años (Fig. 1.5).

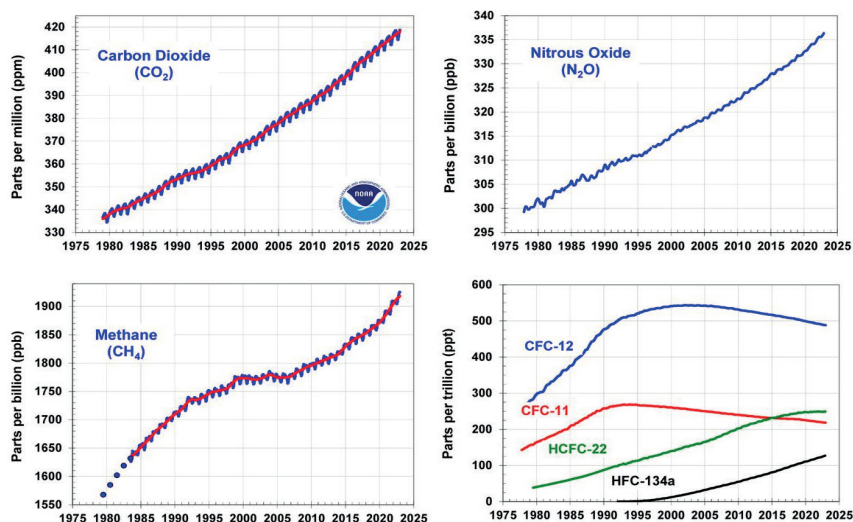


Fig. 1.5. Aumento de los gases de efecto invernadero que contribuyen al calentamiento atmosférico mundial global con registros de 1985 a 2022. Fuente: <https://www.aoml.noaa.gov/>.

El aumento de los niveles de CO₂ ya ha reducido el pH del océano en 0.1 unidades de pH y es probable que este aumento de la acidificación continúe. A mayor pH, muchos organismos calcificantes que producen conchas o placas se verán afectados negativamente. Algunos modelos predicen que por 2050, los océanos pueden ser demasiado ácidos para que los corales mantengan sus procesos de calcificación (McField 2017). Los modelos predicen que a menos que el uso de combustibles fósiles se reduzca drásticamente, el cambio climático hará que entre el 15 y el 37% de las especies en esas regiones se extingan para el año 2050.

Un efecto del cambio climático es la transformación de la distribución de los organismos, mientras los organismos de las zonas frías sufren la restricción de sus hábitats en contraste las especies de zonas tropicales parecen extender su distribución regional (Zarzyzny et al. 2020).

La tropicalización es un fenómeno global reciente caracterizado por expansiones del rango de distribución de especies marinas tropicales o subtropicales hacia los polos y acompañadas por retracciones del rango geográfico con posibles disminución de la abundancia de las especies de regiones templadas hacia los límites de transición biogeográfica y en las propias áreas templadas (Fig 1.6) (Wernberg et al. 2013; Vergés et al. 2014).

Estos cambios en la distribución de las especies son causados por el cambio climático contemporáneo y conducen a interacciones alteradas entre especies que tienen efectos en cadena sobre el funcionamiento y la estabilidad de los ecosistemas transformados (Wernberg et al. 2013).

Aunque la “tropicalización” se detectó inicialmente para describir un aumento de especies tropicales en el mar Mediterráneo (Bianchi y Morri, 2003), desde entonces se ha utilizado ampliamente para indicar el aumento de la proporción de especies marinas tropicales en comunidades templadas marinas residentes. Aunque específica para las regiones marinoas se descarta que también puede ocurrir en comunidades terrestres, abarcando desplazamientos de comunidades enteras hacia los polos. La tropicalización puede alterar los conjuntos de comunidades en escalas de tiempo decenales (Wernberg et al. 2013; Vergés et al. 2014) y tener consecuencias ecológicas y evolutivas a largo plazo.

Otros fenómenos similares que deben llamar la atención de las y los ecólogos incluyen la borealización (expansión a las regiones boreales por las comunidades templadas del norte hacia las áreas árticas y la retracción de las comunidades árticas) y la desertificación entendida como la expansión de desiertos y biorregiones áridas como resultado del calentamiento climático y de las actividades antropogénicas, particularmente de malas prácticas agrícolas que conducen a la degradación y reducción de la productividad de la tierra, que, junto con la tropicalización, contribuyen a la redistribución global de la biota y al reordenamiento de las comunidades ecológicas (Hastings et al. 2020).

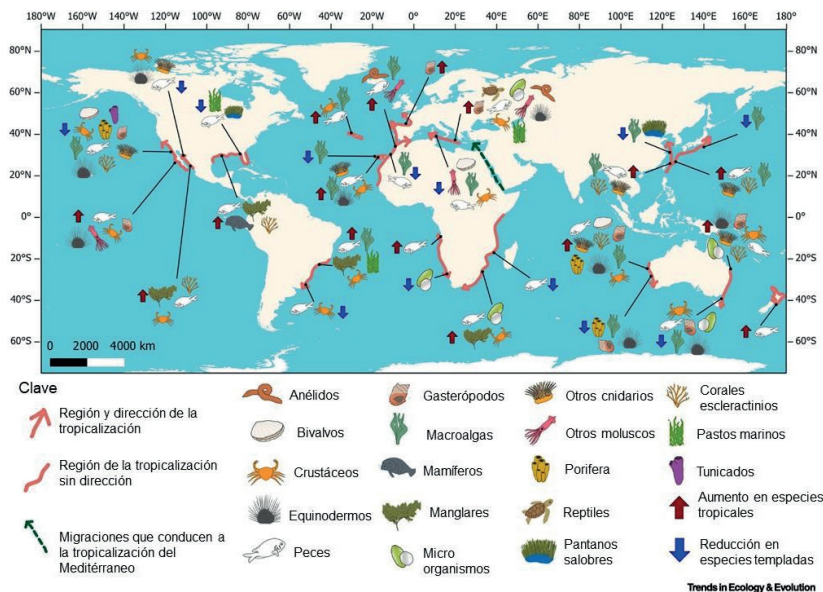


Fig 1.6. Taxones y áreas geográficas donde se ha detectado tropicalización. Un aumento en las especies tropicales (flecha roja 'hacia arriba') indica que los estudios muestran expansiones de rango y un aumento en la abundancia de especies tropicales. La reducción de las especies templadas (flecha azul "hacia abajo") indica que los estudios han demostrado una reducción en la abundancia de especies templadas, extinciones locales y retracciones de rango. Meta-análisis de 138 artículos publicados entre 2004 y 2023 (Modificado de Zarzycny, et al. 2023).

El nivel actual de la vida humana se ha sostenido por las diferentes maneras en las que usamos los recursos del ambiente, un ejemplo claro es la agricultura, porque cada vez más requerimos alimentos para una población mundial en crecimiento casi desmedido; para favorecer el cultivo de las especies que nos importan se aplican una variedad muy numerosa de productos químicos a los cultivos agrícolas para erradicar plagas y a otras plantas que les compiten, estas sustancias provocan efectos indeseables en la vida silvestre.

La historia del DDT (Dicloro-Difenil-Tricloroetano) es un ejemplo, en las décadas de 1950 y 1960, el DDT era un pesticida de uso común contra una variedad amplia de plagas agrícolas e insectos portadores de enfermedades como los mosquitos. La acumulación en las cadenas alimentarias resultó en altos niveles de DDT en depredadores superiores como las aves rapaces, el DDT alteró la síntesis de calcio para darle consistencia a los huevos de estas aves, lo que resultó en huevos rotos, eclosión y densidades de población más bajas. Estos sucesos y resultados son un caso de prácticamente cientos de contaminantes acuáticos que incluyen numerosos

pesticidas, toxinas, metales pesados que se desplazan a lagos y ríos desde campos agrícolas, muchos se lixivian por los mantos freáticos y se acumulan en estuarios para luego llegar a la plataforma marina.

Estudios recientes han destacado la acumulación significativa de pesticidas en los cuerpos de animales, humanos y peces, lo que demuestra la toxicidad y los impactos a largo plazo de estos productos químicos. Por ejemplo, Xu et al. (2022) estudiaron las concentraciones de pesticidas organoclorados (OCP) y bifenilos policlorados (PCB) en siete especies de productos alimenticios de agua dulce, incluidos peces y cangrejos de río de granjas acuícolas alrededor de Changsha, China. Analizaron el tejido muscular de estas especies para evaluar los riesgos para la salud por la ingesta dietética. Las concentraciones medias de OCP oscilaron entre 6.38 y 15.9 ng/g de peso húmedo y los PCB oscilaron entre 3.18 y 5.12 ng/g de peso húmedo.

El heptacloro y el δ -HCH (Delta-Hexaclorociclohexano) fueron predominantes, representando más del 74 % del total. Los cocientes de riesgo y riesgo de cáncer indicaron que los HCH, el heptacloro y los PCB podrían representar un riesgo de cáncer para los consumidores según las tasas de consumo promedio. Esta bioacumulación plantea graves riesgos para la salud y tales hallazgos subrayan la naturaleza generalizada de la contaminación por pesticidas y su capacidad para biomagnificarse a través de las cadenas y mallas alimenticias, lo que resulta en importantes implicaciones para la salud tanto de la vida silvestre como para los humanos. Los datos cuantitativos globales sobre los impactos en la salud y ambiente por la toxicidad de los plaguicidas se resumen en la Tabla 1.4, con base en información compilada por Zhou et al. (2025).

Tabla 1.4 Datos cuantitativos sobre los impactos a la salud y al ambiente por la toxicidad de los plaguicidas (Zhou et al. 2025).

Categoría De Impacto	Impacto específico	Datos Cuantitativos
Salud Humana	Muertes por intoxicación aguda	Aproximadamente 385 millones de casos de intoxicación aguda por plaguicidas al año, con alrededor de 11.000 muertes en todo el mundo
	Riesgo de enfermedad de Parkinson	70 % más de incidencia en individuos expuestos
	Riesgo de linfoma no Hodgkin	Aumento del riesgo del 41 % entre las personas expuestas
Ambiente - Agua	Contaminaciones corrientes de agua	Plaguicidas encontrados en el 50 % de las muestras de agua del mundo
Ambiente - Suelo	Reducción de la diversidad microbiana	Disminución de la diversidad microbiana del suelo hasta en un 30 %

Categoría De Impacto	Impacto específico	Datos Cuantitativos
Ambiente - Biodiversidad	Disminución de la población de abejas	Disminución de hasta un 30 % de las poblaciones de abejas en algunas zonas
Ambiente - Bioacumulación	Niveles de pesticidas en mamíferos marinos	Niveles de bifenilos policlorados y DDT de hasta 466 ng/g y 3819 ng/g de peso lipídico, respectivamente
Ambiente - Aire	Transporte de plaguicidas atmosféricos	Pesticidas detectados hasta 100 km de los sitios de aplicación

REFERENCIAS

Allaby, M. (2010). *Ecology: plants, animals, and the environment*. Facts on File, New York.

Andrewartha H.G., Birch, L. C. (1954). *The Distribution and Abundance of Animals*. University of Chicago Press.

Begon, M., Harper J. L. Harper., Townsend C. R. (1986). *Ecology: individuals, populations and communities*. Blackwell Scientific Publications, Oxford. 876 pp.

Bianchi, C. N., Morri, C. (2003). Global sea warming and “tropicalization” of the Mediterranean Sea: Biogeographic and ecological aspects. *Biogeographia*. 24. 319-327. 10.21426/B6110129

Bolam, F. C., Mair L., Angelico M., et al. (2021). How many bird and mammal extinctions has recent conservation action prevented? *Conservation Letters*. 14: e12762. <https://doi.org/10.1111/conl.12762>

Cabernard, L., Pfister, S., Hellweg, S. (2024). Biodiversity impacts of recent land-use change driven by increases in agri-food imports. *Nature Sustainability* 7, 1512–1524.

Cafaro, P., Hansson, P., Götmarm, F. (2022). Overpopulation is a major cause of biodiversity loss and smaller human populations are necessary to preserve what is left. *Biological Conservation*, 272: 109646.

<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2022.109646>.

Capdevila-Argüelles, L., B. Zillett y V.A.S. Álvarez (2013). *Causas de la pérdida de biodiversidad: especies Exóticas Invasoras*. Memorias de la Real Sociedad Española de Historia Natural. 2ª época, Tomo X. España.

Chávez-López, R., Morán-Silva. A. (2019). Revisión de la composición de especies de peces capturadas incidentalmente en la pesquería de camarón en el Golfo de México. *Ciencia Pesquera*, 27(1): 65-82.

Chini, L. et al. (2021). Land-use harmonization datasets for annual global carbon budgets. *Earth Systematic Science Data* 13, 4175–4189.

Colinvaux P (1986) *Ecology*. Wiley, New York.

Egerton, F. N. (2001a). A History of the Ecological Sciences: Early Greek Origins. *Bulletin of the Ecological Society of America*, 82: 93–97.

Egerton, F. N. (2001b). A History of the Ecological Sciences, Part 2: Aristotle and Theophrastos. *Bulletin of the Ecological Society of America*, 82:149–152

Egerton, F. N. (2001c). A History of the Ecological Sciences, Part 3. Hellenistic Natural History. *Bulletin of the Ecological Society of America*, 82(3):201–205.

Egerton, F. N. (2001d). A History of the Ecological Sciences, Part 4. Roman Natural History. *Bulletin of the Ecological Society of America*, Volume 82(4):243–246.

Egerton, F. N. (2002a). A History of the Ecological Sciences, Part 5. Byzantine Natural History. *Bulletin of the Ecological Society of America*, 83(1):89–94.

Egerton, F. N. (2002b). A History of the Ecological Sciences, Part 6. Arabic Language Science—Origins and Zoological Writings. *Bulletin of the Ecological Society of America*, 83(2):142–146.

Egerton, F. N. (2002c). A History of the Ecological Sciences, Part 7. Arabic Language Science—Botany, Geography, and Decline. *Bulletin of the Ecological Society of America*, 83(4):261–266.

Egerton, F. N. (2005). A History of the Ecological Sciences, Part 15: The Precocious Origins of Human and Animal Demography and Statistics in the 1600s. *Bulletin of the Ecological Society of America*, 86(1):32–38.

Egerton, F. N. (2006). A History of the Ecological Sciences, Part 19: Leeuwenhoek's Microscopic Natural History. *Bulletin of the Ecological Society of America*, 87(1):47–58.

Egerton, F. N. (2007) A History of the Ecological Sciences, Part 23: Linnaeus and the Economy of Nature. *Bulletin of the Ecological Society of America*, 88(1):72–88.

Egerton, F. N. (2007b). A History of the Ecological Sciences, Part 24: Buffon and Environmental Influences on Animals. *Bulletin of the Ecological Society of America*, 88(2):146–159.

Egerton F. N. (2009a). A History of the Ecological Sciences, Part 32: Humboldt, Nature's Geographer. *Bulletin of the Ecological Society of America*, 90(3):253–282.

Egerton F. N. (2009b). A History of the Ecological Sciences, Part 33: Naturalists Explore North America, mid-1780s–mid-1820s. *Bulletin of the Ecological Society of America*, 90(4): 434–487.

Egerton F. N. (2009c). A History of the Ecological Sciences, Part 34: A Changing Economy of Nature. *Bulletin of the Ecological Society of America*, 91(1): 21-41.

Egerton F. N. (2010a). A History of the Ecological Sciences, Part 35: The Beginnings of British Marine Biology: Edward Forbes and Philip Gosse. *Bulletin of the Ecological Society of America*, 91(2):176-201.

Egerton F. N. (2010b). A History of Ecological Sciences, Part 37: Charles Darwin's Voyage on the Beagle. *Bulletin of the Ecological Society of America*, 91(4):398-431.

Egerton F. N. (2011). History of Ecological Sciences, Part 40: Darwin's Evolutionary Ecology. *Contributions ESA Bulletin of the Ecological Society of America*, 92(4): 351-374.

Egerton F. (2012). A History of Ecological Sciences, Part 42: Victorian Naturalists Abroad- Hooker, Huxley, Wallace. *Bulletin of the Ecological Society of America*, 93(2):125-159.

Egerton, F. N. (2013a). A History of the Ecological Sciences, Part 47: Ernst Haeckel's Ecology. *Bulletin of the Ecological Society of America*, 94(3):222-244.

Egerton, F. N. (2013b). A History of the Ecological Sciences, Part 48: Formalizing Plant Ecology, about 1870 to mid-1920s. *Bulletin of the Ecological Society of America*, 94(4):341-378.

Egerton, F. N. (2014a). A History of the Ecological Sciences, Part 49: Formalizing Animal Ecology, 1870s to 1920s. *Bulletin of the Ecological Society of America*, 95(1):59-81.

Egerton, F. N. (2014b). History of Ecological Sciences, Part 50: Formalizing Limnology, 1870s to 1920s. *Bulletin of the Ecological Society of America*, 95(2):131-153.

Egerton, F. N. (2014c) A History of Ecological Sciences, Part 51: Formalizing Marine Ecology, 1870s to 1920s. *Bulletin of the Ecological Society of America*, 95(4):347-430.

Egerton, F. N. (2015a). A History of Ecological Sciences, Part 53: Organizing Ecologists before 1946. *Bulletin of the Ecological Society of America*, 96(2): 239-311.

Egerton, F. N. (2015b). A History of Ecological Sciences, Part 54: Succession, Community, and Continuum. *Bulletin of the Ecological Society of America*, 96(3): 426-474.

Egerton, F. N. (2015c). A History of Ecological Sciences, Part 55: Animal Population Ecology. *Bulletin of the Ecological Society of America*, 96(4): 560-626.

Egerton, F. N. (2016) Aspects of Limnology in America, 1930s to about 1990, led by Hutchinson and Hasler. *Bulletin of the Ecological Society of America*, 97(3):228- 282.

Ellis, E.C., N. Gauthier, K. Klein Goldewijk, et al. (2021). People have shaped most of terrestrial nature for at least 12,000 years. *Proceedings of National Academy of Sciences, USA*, 118(17): e2023483118, <https://doi.org/10.1073/pnas.2023483118>.

Dodson S. I. (1998) *Ecology*. Oxford University Press.

Ehrlich P. R., Roughgarden J. (1987). *The Science of Ecology*. Macmillan.

Gurevitch J., Scheiner S. M., Fox G. A. (2006). *The Ecology of Plants*. Sinauer.

Hastings R. A., Rutterford L. A., Freer J. J., Collins R. A., Simpson S. D., Genner M. J. (2020). Climate Change Drives Poleward Increases and Equatorward Declines in Marine Species. *Current Biology*, 30(8):1572-1577.e2. doi: 10.1016/j.cub.2020.02.043

Hogue, A. S., Breon, K. (2022). The greatest threats to species. *Conservation Science and Practice*, 4(5), e12670. <https://doi.org/10.1111/csp2.12670>

Hurtt, G., Chini, L., Sahajpal, R., et al. (2020). Harmonization of global land use change and management for the period 850–2100 (LUH2) for CMIP6. *Geoscientific Model Development*, 13:5425–5464. <https://doi.org/10.22033/ESGF/input4MIPs.10454>

International Union for Conservation of Nature. (2019b). Threats classification scheme. Version 3.2. IUCN. Recuperado de: <https://www.iucnredlist.org/resources/threat-classification-scheme> (septiembre 2025).

Krebs C. J. (2001) *Ecology*. Benjamin Cummings.

Krebs, C. J. (2008). *The ecological world view*. CABI Org., CSIRO Publishing.

Life Cycle Initiative (2016). Global Guidance for Life Cycle Impact Assessment Indicators. UNEP-SETAC.

Lovelock, J. E. (1972). "Gaia as seen through the atmosphere". *Atmospheric Environment*. 6(8): 579–580. doi:10.1016/0004-6981(72)90076-5.

Lovelock, J. E., Margulis, L. (1974). "Atmospheric homeostasis by and for the biosphere: the gaia hypothesis". *Tellus A*. 26 (1–2):2-10 doi:10.3402/tellusa.v26i1-2.9731

McField, M. (2017). Impacts of Climate Change on Coral in the Coastal and Marine Environments of Caribbean Small Island Developing States (SIDS), Caribbean Marine Climate Change Report Card: Science Review, 52-59.

McNaughton S. J., Wolf L. L. (1973) *General Ecology*. Holt, Rinehart and Wilson.

Mendoza, R. y P. Koleff. (2014). Introducción de especies exóticas acuáticas en México y en el mundo. En: Mendoza, R. y P. Koleff (coords). *Especies acuáticas invasoras en México*. Conabio.

Morin, P. J. (2011). *Community Ecology*. Wiley-Blackwell.

Olson, D. M. et al. (2001). Terrestrial ecoregions of the world: a new map of life on Earth: a new global map of terrestrial ecoregions provides an innovative tool for conserving biodiversity. *BioScience*, 51, 933–938.

Reuter, H., Franz Hölker, F., U. Middelhoff, F. Jopp, C Eschenbache, Broder Breckling. (2005). The concepts of emergent and collective properties in individual-based models—Summary and outlook of the Bornhöved case studies. *Ecological Modelling*, 186: 489–501.

Ricklefs R. E. (1979). *Ecology*. Chiron.

SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2003. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental de especies nativas de México de flora y fauna silvestres- Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio - Lista de especies en riesgo. Publicada el 30 de diciembre de 2010 en el Diario Oficial de la Federación. Disponible en: <https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4254/semarnat/semarnat.htm>

Scheiner, S. M., Willig M. R. (2008). A general theory of ecology. *Theoretical Ecology* 1:21-28.

Stiling, P. D. (2011). *Ecology: global insights & investigations*. McGraw Hill Companies, New York. 578 p.

Vergés A., Steinberg P. D., Hay M. E., et al. (2014). The tropicalization of temperate marine ecosystems: climate-mediated changes in herbivory and community phase shifts. *Proceedings of Royal Society*, B.28120140846 <http://doi.org/10.1098/rspb.2014.0846>

Vergés, A., McCosker, E., Mayer-Pinto, M, et al. (2019). Topicalization of temperate reefs: Implications for ecosystem functions and management actions. *Functional Ecology*, 33: 1000–1013. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.13310>

Wernberg, T., Smale, D., Tuya, F. et al. (2013). An extreme climatic event alters marine ecosystem structure in a global biodiversity hotspot. *Nature Climatic Change*, 3:78–82. <https://doi.org/10.1038/nclimate1627>

Worster, D. (1994). *Nature's Economy: A History of Ecological Ideas*. Cambridge University Press.

Xu, L., Ren, M., Cui, Y., Miao, X., Yang, X., Li X. (2022). Concentrations and human health risk of organochlorines in farmed freshwater products: fish ponds around Changsha, China. *Journal of Food Protection*, 85(3), 465-477.

Zarzyczny, K. M., Rius, M., Williams, S. T., Fenberg, P. B. (2024). The ecological and evolutionary consequences of topicalization, *Trends in Ecology & Evolution*, 39(3): 267-279. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2023.10.006>

Zhou, W., Li, M., Achal, V. (2025). A comprehensive review on environmental and human health impacts of chemical pesticide usage. *Emerging Contaminants*, 11(1): 100410. <https://doi.org/10.1016/j.emcon.2024.100410>.