https://doi.org/10.17648/heringeriana.v15i1.917957

Heringeriana 15: 1-16. 2021.
http://revistas.jardimbotanico.ibict.br/
Jardim Botânico de Brasília

ISSN 1983-6996 Versão impressa
Heringeriana
ISSN 2359-165X Versão *on-line*

Editorial

Biodiversity as a complex clockwork

A biodiversidade como uma engrenagem complexa

La biodiversidad como un engranaje complejo

Reuber Albuquerque Brandão[1]*, Maria Rosa Vargas Zanatta[2] & Estevão do Nascimento Fernandes de Souza[2]

Biodiversity as a complex clockwork 2-6
We discuss some ideas about the concepts of diversity and biodiversity, explaining the title of this text at the end, and how Heringeriana understands its role as a vehicle for the dissemination of new knowledge in these topics.

A biodiversidade como uma engrenagem complexa 7-11
Discutimos algumas ideias sobre os conceitos de diversidade e biodiversidade, explicando ao final o título desse texto e como a Heringeriana entende seu papel de veículo para a disseminação de novos conhecimentos nesses tópicos.

La biodiversidad como un engranaje complejo 12-16
Discutimos algunas ideas sobre los conceptos de diversidad y biodiversidad, explicando al final el título de este texto y cómo Heringeriana entiende su papel como vehículo para la difusión de nuevos conocimientos sobre estos temas.

Reading suggestions/Sugestões de leitura/Sugerencias de lectura 16

[1] Laboratório de Fauna e Unidades de Conservação, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil. CEP 70910-900.
[2] Jardim Botânico de Brasília, Superintendência-Técnico Científica, Diretoria de Gestão Integrada da Biodiversidade e Conscientização Pública, Brasília, DF, Brasil. CEP: 71680-001.
* Corresponding author/Autor para correspondência/Autor de correspondencia: reuberbrandao@gmail.com

Biodiversity as a complex clockwork

The terms biodiversity and diversity are present in daily life. We are constantly confronted with the use of these terms in the media, politics and colloquial conversations, but few really seek to effectively know what they mean. In a world permeated by shallow information, there is a fallacious collective belief that the understanding of concepts will be achieved by simple repetition of terms, without the need to seek the meaning of what is repeated. This is dangerous because it might resonate skewed understandings that lead to the impoverishment of our perception and understanding of the world around us. Moreover, the concern with the correct use of these terms is relevant because, if not clearly understood, the designing of efficient public policies for the protection of such diversity can be greatly impaired, harming society as a whole.

When we type "biodiversity concept" in a internet search engine, we are bombarded with a series of precarious definitions, many of them nothing more than circular reasoning about perceptions brought by the very name "biodiversity", associated with a lot of relevant information, but presented in a cluttered way, not effectively contributing to the clear understanding of the term.

Diversity and espionage

What is the best way to trick the enemy spy? Imagine that information sensitive to your strategy is being passed on from your headquarters to your field agents. There is always a risk that this information will be intercepted by the enemy, endangering the confidential operation as well as the lives of its agents. It is wrong to imagine that the best way to deceive the enemy is to somehow hide the message. The encrypted code or the safe used, can always be decoded or broken. Even complex systems, such as those used by the Germans in World War II, can be exposed if the decoding mechanism falls into allied hands, as occurred with the famous Enigma Machine.

However, an efficient way to confuse the enemy is simply to saturate their decoding capability. Imagine the enemy is spying on your radio. If you send only one message a day, even if it is extremely encrypted, they will have only one message to try to "break" per day, focusing all their effort, team and dedication on it. Now imagine that you send random signals 24 hours a day, and in just two minutes of the day you transmit some important information diluted in 23 hours and 58 minutes of noise. Your enemy will be confused by the enormity of "messages" and will not know where, amid so many transmitted signals, to look for real information.

One way to deal with this is by using so-called information indexes. You can understand what is written in these lines of text because there is a logic of organization of letters that allows you to convey information. Basically, this information deals with which letters are used (richness of letters used) and how they repeat over words (abundance in which they appear). Texts written with few letters end up not bringing information, as well as texts where the letters are repeated much also not... These two parameters, called *richness* and *abundance*, are important elements of information theory and are the basis of diversity indices. When we apply the Theory of Information on coded texts, we can perceive in which part there is greater organized information, identifying where we should focus attention and effort for their decoding. Information

indexes can be applied in an enormity of research fields, from Informatics to Ecology. We can calculate, for example, how much information there is in your supermarket shopping cart, in the books on your shelf or in the clothes of your wardrobe.

When we apply these concepts in Ecology, we use the term *richness* to express how many species our sample has, and the term *abundance* to tell how many individuals represent each species in our sample. Thus, we understand that diversity *is a mathematical index that expresses the relationship between the number of species and the abundance of individuals present in an environment*. When we say that an ecosystem has a lot of diversity, we are saying that this system has a lot of biological information. *So, when we lose ecosystems with high diversity, we lose a lot of biological information.* We diminish the amount of information that our planet provides us, as well as all the possibilities brought by the understanding of this information about the definition of our strategies in the face of life and future options.

All addendums from the use of the term diversity necessarily need to express the information contained in the concept. If not, they are just replicating skewed understandings of the term.

The organization of information

Biological information is organized in nature, but this organization comprises a complex arrangement involving different levels and quantities of information. Every expression of life on the planet involves this complexity of organization, from the information contained in a small sequence of DNA or RNA, up to the entire biota. Thus, to say that biodiversity refers to the whole life of the earth or that it is the variety of life forms is extremely simple and, why not, terribly erroneous, since it does not inform the critical pillar of the concept, which is the organization of the manifestation of life.

This concern with the organization of biological information is justified by the effects that the loss of diversity has on this organization. The way biological impoverishment affects this organization generates differentiated impacts, creating the need for differentiated prevention or mitigation strategies. Diversity losses affect biological organization at different scales of composition, function and structure complexity. Therefore, conservation strategies cannot be thought of in a fragmented way, focusing only on species. Biodiversity is much more than that.

Therefore, even widely accepted concepts such as "*the variety and variability of all living organisms and ecological complexes where they occur, considering the diversity of ecosystems, species diversity and genetic diversity*" are flawed, since they disregard ecological processes essential for the generation and maintenance of biodiversity, such as ecological interactions, natural selection, and biogeochemical cycles. And that is still the concept that dominates widely between society and decision makers.

Considering the importance of the function, composition and structure of the different components of biodiversity (such as genes, species and ecosystems), the concept of biodiversity must be understood in an expanded way to incorporate the hierarchical importance of the organization of life. Thus, who and how many are these components (composition), how they are organized (structure) and how they interact with each other and with the environment (function), are essential in understanding biodiversity. This understanding is important because most of our public policies focused on conservation, as well as society's concern

with biodiversity, are strongly biased towards the composition of biodiversity, while the structure and function of these elements of biodiversity in nature are, regrettably, largely overlooked.

Thus, a good definition of biodiversity, which includes these issues and is more comprehensive, can be explained as "*it is the hierarchical organization of biological complexity in genes, species, populations, communities, ecosystems and biomes, considering the composition, function and structure of all elements of this organization and their interactions*". We believe that this concept encompasses the processes that exist between the different components of the biota and prevents simplifications putatively harmful to the understanding of what biodiversity is and in the making of realistic conservation policies. It is important to emphasize that this understanding of biodiversity has existed for about two decades (Figure 1), but unfortunately it has not yet been properly incorporated by most public managers and, even less, by society. This is the understanding of biodiversity that Heringeriana editors apply.

The dynamics of biodiversity

Despite the advances in the understanding of biodiversity, when we look at Figure 1 we have the impression that the complexity of biological diversity is still compartmentalized, being restricted to the "boxes" where each component is closed. However, all these components are strongly interconnected by ecological interactions and processes that allow the transfer of mass and energy between them. A mutation of a gene that expresses a positively selected characteristic, will interfere in the differential survival of individuals of the species, interfering in the composition of species in a community, which will affect trophic relationships and other interactions, leading to changes in ecosystems and so on. Conversely, changes in landscapes, such as forest removal, will affect the diversity of genes present in this region.

Such transfer of mass and energy informs you that the structure presented in Figure 1 is not static, but functions as a constantly moving gear. It is this movement that generates the emerging properties of ecosystems, among which are the ecosystem services that enable our survival on the planet. Even evolution is part of the constant functioning of the biodiversity machinery.

Other approaches

One of the issues that has been studied recently is the role of phylogenetic diversity, taxonomic diversity, and functional diversity in the organization of biodiversity.

Let us imagine a situation where, in three different areas, we will study mammals of the Carnivora Order. All three areas have four species. This means that the three have the same taxonomic diversity (different species). In the first area there are four species of felines. In the second area we have a jaguar, a maned wolf, a kinkajou and an otter and in the third area we have a wild cat, a fox, a bush dog and a coati. The first area has less phylogenetic diversity than the others, because all carnivorous species in it are felines (the evolutionary history contained in this area is smaller). It also has less functional diversity, because cats tend to use explore resources in a more similar way. The second area has the greatest phylogenetic diversity, it houses representatives of four different families (Felidae, Canidae, Procyonidae and Mustelidae), as well as greater functional diversity, as it encompasses an exclusively carnivorous apex predator (jaguar), a large carnivore that feeds on various fruits (maned

wolf), a small arboreal carnivore with omnivorous habits (kinkajou) and a exclusively carnivorous aquatic predator (otter). The third area is home to smaller phylogenetic diversity, as it houses representatives of three families, as well as lower functional diversity because it does not present apex predators or aquatic predators. Despite having the same richness, the amount of ecological and evolutionary information between these areas is different.

These differences in evolutionary history and ecology of ecosystems end up generating interesting processes in the structuring of biodiversity, which has been the focus of several studies on how life manifests itself and acts on the planet. Since the inception of our species, humans have been using elements of biodiversity, influencing, and even acting as a selective force over this structure. Currently, the increase in the scale of human impact presents several challenges for the conservation of nature, as well as the need to understand the way in which human life interrelates with non-human life.

Thus, Heringeriana aims to publish, with a fast process of peer review, open access and free of charge, unpublished and advanced studies that contribute to the understanding of how the biodiversity gear operates, focusing on aspects related to the composition, function and structure of the various elements and levels of complexity of organization of life in the natural world and the challenge of its conservation. Heringeriana is an interesting option of scientific journal for the submission of papers that accelerate our understanding of biodiversity and its manifestations.

ACKNOWLEDGEMENTS

To Gabriel Henrique de Oliveira Caetano for the English revision.

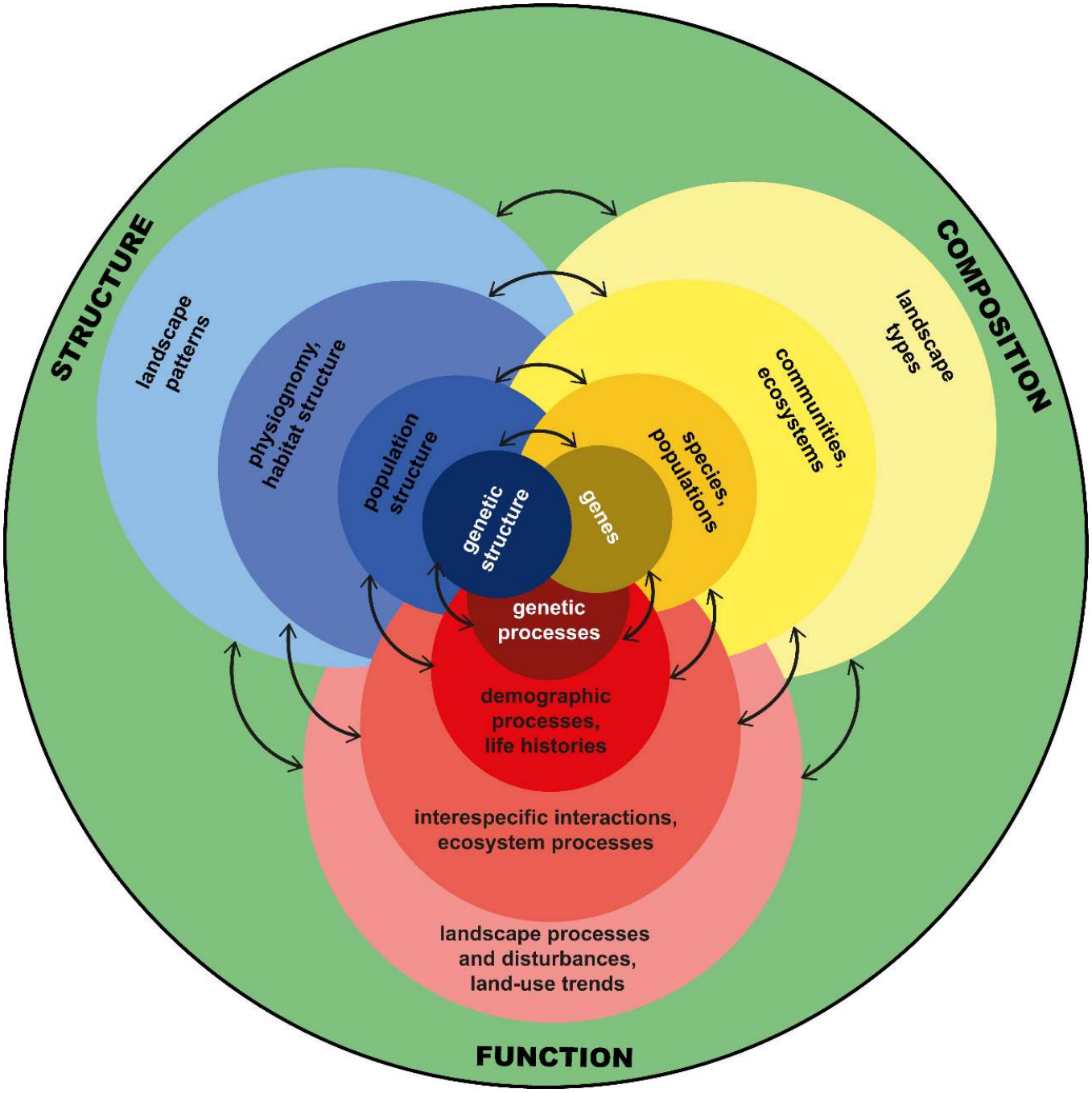


Figure 1. Representative scheme adapted from Noss (1990) presenting the hierarchical structure of organization of biological diversity, considering its complexity of composition, structure, and function.

A biodiversidade como uma engrenagem complexa

Os termos biodiversidade e diversidade estão na boca do povo. Somos constantemente confrontados com o uso desses termos na mídia, na política, nas conversas coloquiais, mas poucos realmente buscam saber efetivamente o que significam. No mundo em que vivemos, de muita informação rasa, existe uma crença coletiva falaciosa de que o entendimento dos conceitos será alcançado pelas pessoas pela simples repetição dos termos, não sendo necessário buscar a explicação básica do que é repetido. E isso é perigoso, pois acaba ressoando entendimentos enviesados que levam ao empobrecimento de nossa percepção e entendimento sobre o mundo ao nosso redor. Além disso, a preocupação com o uso correto do termo é fundamentalmente relevante porque, caso ele não seja claramente compreendido por todos, a definição de políticas públicas eficientes para a sua proteção é largamente prejudicada, consequentemente prejudicando toda a sociedade.

Mesmo quando digitamos no nosso buscador de internet "conceito biodiversidade" somos bombardeados com uma série de definições precárias, muitas delas nada mais que raciocínios circulares sobre percepções trazidas pelo próprio nome "biodiversidade", associada a um monte de informações relevantes, mas apresentadas de forma atabalhoada, não contribuindo efetivamente com o entendimento claro do termo.

Diversidade e espionagem

Qual é a melhor forma de enganar o espião inimigo? Imagine que informações sensíveis à sua estratégia estejam sendo repassadas do seu quartel general aos seus agentes em campo. Sempre há o risco de que essas informações sejam interceptadas pelo inimigo, colocando em risco a operação confidencial, bem como a vida de seus agentes. Engana-se quem imagina que a melhor maneira de iludir o inimigo seja esconder, de alguma forma, a mensagem. O código criptografado, o cofre utilizado, o lacre selado, sempre podem ser decodificados, arrombados ou rompidos. Mesmo sistemas complexos, como os utilizados pelos Alemães na Segunda Grande Guerra, podem ser expostos caso o mecanismo de decodificação caia nas mãos aliadas, como ocorreu com a famosa Máquina Enigma.

No entanto, uma forma bastante eficiente de confundir o inimigo é simplesmente saturar sua capacidade de decodificação. Imagine que o inimigo esteja espionando o seu rádio. Caso você emita apenas uma mensagem por dia, mesmo sendo ela extremamente cifrada, ele terá apenas uma mensagem para tentar "quebrar" por dia, focando nela todo seu esforço, equipe e dedicação. Agora imagine que você fique 24 horas por dia enviando sinais aleatórios, sendo que em apenas dois minutos do dia você repassa alguma informação importante diluída em 23 horas e 58 minutos de ruído. Seu inimigo ficará confuso com a enormidade de "mensagens" e não saberá onde, no meio de tantos sinais transmitidos, procurar a informação real.

Uma forma de lidar com isso, é usando os chamados índices de informação. Você consegue entender o que está escrito nessas linhas de texto porque existe uma lógica de organização das letras que permite transmitir uma informação. Basicamente, essa informação lida com que letras são usadas (riqueza de letras usadas) e como elas se repetem ao longo das palavras (abundância na qual aparecem). Textos escritos com poucas letras acabam não trazendo informação, assim como textos onde as letras se repetem muito também não... Esses dois parâmetros, chamados de *riqueza e abundância*,

são importantes elementos da Teoria da Informação e são a base dos índices de diversidade. Quando aplicamos a Teoria da Informação sobre textos codificados, podemos perceber em que parte do mesmo há maior informação organizada, identificando onde devemos concentrar atenção e esforços na sua decodificação. Os índices de informação podem ser aplicados em uma enormidade de campos de pesquisa, desde a Informática até a Ecologia. Podemos calcular, por exemplo, quanta informação existe no seu carrinho de compras do supermercado, nos livros de sua prateleira ou nas roupas do seu guarda-roupas.

Quando aplicamos esses conceitos na Ecologia, usamos o termo *riqueza* para expressarmos quantas espécies nossa amostra possui, e o termo *abundância* para dizermos quantos indivíduos representam cada uma das espécies de nossa amostra. Desta forma, entendemos que *diversidade é um índice matemático que expressa a relação entre o número de espécies e a abundância de indivíduos presentes em um ambiente*. Quando falamos que um ecossistema possui muita diversidade, estamos dizendo que esse sistema possui muita informação biológica. *Por isso, quando perdemos ecossistemas com alta diversidade, perdemos muita informação biológica*. Empobrecemos a quantidade de informação que nosso Planeta nos fornece, bem como todas as possibilidades trazidas pelo entendimento dessa informação sobre a definição de nossas estratégias diante da vida e opções de futuro.

Todos os adendos oriundos do uso do termo diversidade precisam, necessariamente, expressar a informação contida no conceito. Caso negativo, estão apenas replicando entendimentos enviesados do termo...

A organização da informação

A informação biológica está organizada na natureza, mas essa organização compreende um arranjo complexo envolvendo diferentes níveis e grandezas de informação. Toda a expressão de vida no planeta envolve essa complexidade de organização, seja ela a informação contida em uma pequena sequência de DNA ou RNA, até toda a biota. Desta forma, dizer que biodiversidade se refere a toda a vida da terra ou que é a variedade de formas de vida é extremamente simplório e, por que não, terrivelmente errôneo, pois não informa o pilar crítico do conceito que é a organização da manifestação da vida.

Tal preocupação com a organização da informação biológica se deve ao fato de que a perda de diversidade possui efeitos sobre essa organização. A forma como o empobrecimento biológico afeta essa organização gera impactos diferenciados, criando a necessidade de estratégias diferenciadas de prevenção ou mitigação. As perdas de diversidade afetam a organização biológica em diferentes escalas de complexidade de composição, de função e de estrutura. Por isso, as estratégias de conservação não podem ser pensadas de forma fragmentada, focando apenas em espécies. Biodiversidade é muito mais do que isso.

Por isso, mesmo conceitos amplamente aceitos, como "*a variedade e variabilidade de todos os organismos vivos e os complexos ecológicos onde ocorrem, considerando a diversidade de ecossistemas, a diversidade de espécies e a diversidade genética*" é falha porque desconsidera processos ecológicos essenciais para a geração e a manutenção da biodiversidade, como as interações ecológicas, a seleção natural e os ciclos biogeoquímicos. E esse é ainda o conceito que domina amplamente entre a sociedade e os tomadores de decisão.

Por isso, considerando a importância da função, da composição e da estrutura dos diferentes componentes da biodiversidade (como genes, espécies e ecossistemas), o conceito de biodiversidade deve ser entendido de forma expandida para incorporar a importância hierárquica da organização da vida. Com isso, quem e quantos são esses componentes (composição), de que forma estão organizados (estrutura) e de que forma interagem entre si e com o ambiente (função), são essenciais no entendimento da biodiversidade. Esse entendimento é importante porque a maior parte de nossas políticas públicas voltadas à conservação, bem como a preocupação da sociedade com a biodiversidade, é fortemente enviesada para a composição da biodiversidade, enquanto a estrutura e função desses elementos da biodiversidade na natureza são, lamentavelmente, amplamente negligenciados.

Desta forma, uma boa definição de biodiversidade, que abarque essas questões e seja mais abrangente, pode ser traduzida como "É a organização hierárquica da complexidade biológica em genes, espécies, populações, comunidades, ecossistemas e biomas, considerando a composição, função e estrutura de todos os elementos dessa organização e suas interações". Acreditamos que esse conceito abarca os processos que existem entre os diferentes componentes da biota e previne simplificações putativamente prejudiciais ao entendimento do que é biodiversidade e na tomada de políticas realistas de conservação. É importante ressaltar que esse entendimento da biodiversidade existe há cerca de duas décadas (Figura 1), mas infelizmente não foi ainda devidamente incorporado pela maior parte dos gestores públicos e, menos ainda, pela sociedade. Esse é o entendimento que os editores da Heringeriana aplicam.

A dinâmica da biodiversidade

Apesar dos avanços no entendimento da biodiversidade, quando olhamos a Figura 1 temos a impressão de que a complexidade da diversidade biológica ainda está compartimentalizada, estando restritas às "caixinhas" onde cada componente está encerrado. No entanto, todos esses componentes estão fortemente interligados por interações ecológicas e processos que permitem a transferência de massa e energia entre eles. Uma mutação de um gene que expressa uma característica positivamente selecionada, irá interferir na sobrevivência diferencial de indivíduos da espécie, interferindo na composição das espécies em uma comunidade, que afetarão as relações tróficas e outras interações, levando a mudanças nos ecossistemas e assim por diante. De forma correlata, mudanças nas paisagens, como a retirada de florestas, afetará a diversidade de genes presentes nessa região.

Essa transferência de massa e energia informa que a estrutura apresentada na Figura 1 não é estática, mas funciona como uma engrenagem em constante movimento. E é esse movimento que gera as propriedades emergentes dos ecossistemas, dentre os quais os serviços ecossistêmicos que possibilitam a nossa sobrevivência no planeta. Até mesmo a Evolução é parte do funcionamento constante do maquinário da biodiversidade.

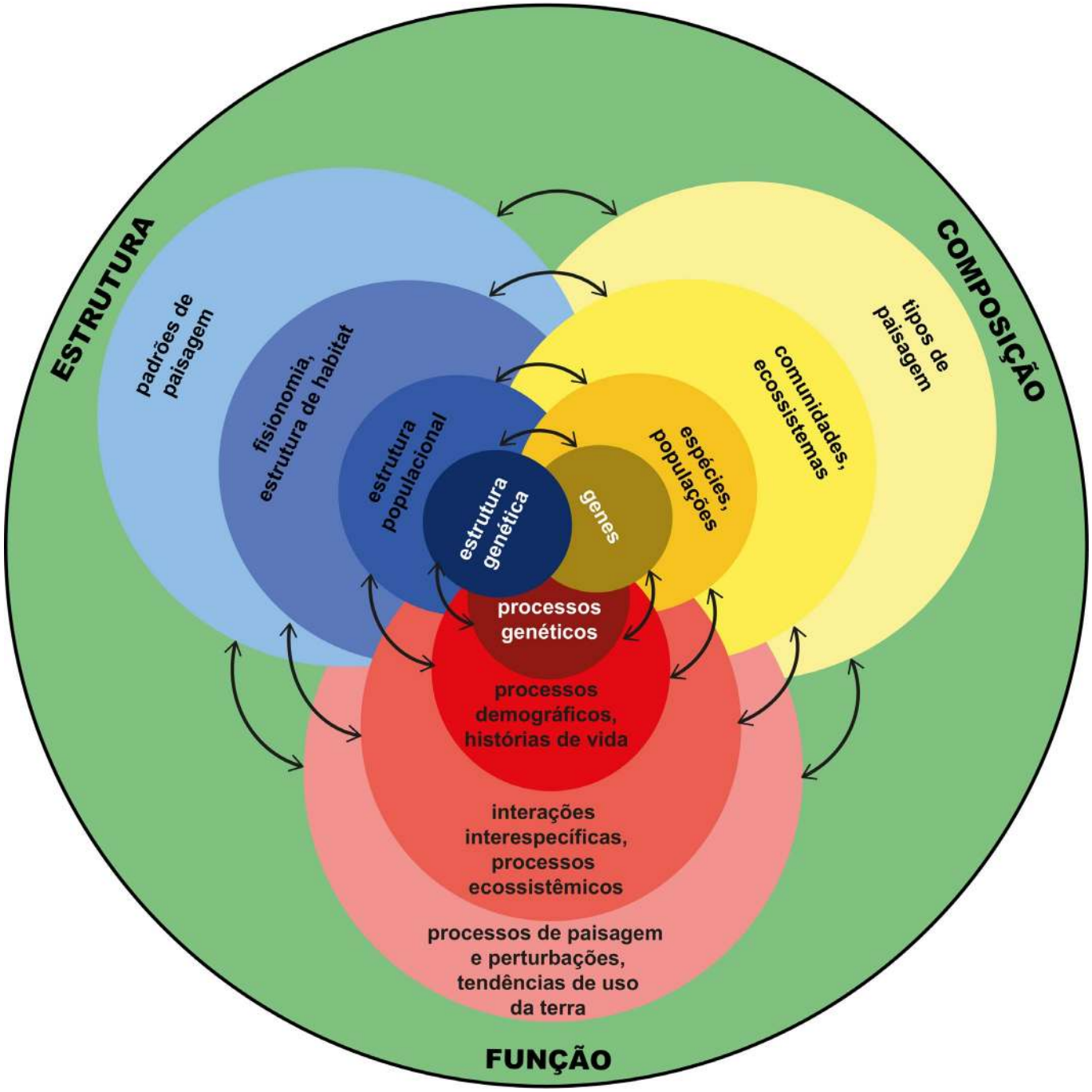


Figura 1. Esquema representativo adaptado de Noss (1990) apresentando a estrutura hierárquica de organização da diversidade biológica, considerando sua complexidade de composição, estrutura e função.

Outras abordagens

Uma das questões que vêm sendo estudadas recentemente é o papel da diversidade filogenética, da diversidade taxonômica e da diversidade funcional na organização da biodiversidade.

Imaginemos uma situação onde, em três áreas diferentes, iremos estudar mamíferos da Ordem Carnivora. Todas as três áreas possuem quatro espécies. Isso significa que as três possuem a mesma diversidade taxonômica (espécies diferentes). Na primeira área existem quatro espécies de felinos. Na segunda área temos uma onça, um lobo-guará, um jupará e uma lontra e na terceira área temos um gato-do-mato, uma raposa, um cachorro do mato e um quati. A primeira área possui menor diversidade filogenética que as

demais, pois todas as espécies de carnívoros que possui são felinos (a história evolutiva contida nessa área é menor). Também possui menor diversidade funcional, pois felinos tendem a usar explorar recursos de forma mais similar. A segunda área possui a maior diversidade filogenética, pois abriga representantes de quatro famílias diferentes (Felidae, Canidae, Procyonidae e Mustelidae), bem como maior diversidade funcional, pois engloba um predador topo de cadeia unicamente carnívoro (onça), um carnívoro de grande porte que se alimenta de diversos frutos (lobo-guará), um carnívoro arborícola de pequeno porte com hábitos onívoros (jupará) e um predador aquático unicamente carnívoro (lontra). A terceira área abriga diversidade filogenética menor, pois abriga representantes de três famílias, bem como menor diversidade funcional pois não apresenta predadores topo-de-cadeia, nem predadores aquáticos. Apesar de terem a mesma riqueza, a quantidade de informação ecológica e evolutiva entre essas áreas é diferente.

Essas diferenças na história evolutiva e na ecologia dos ecossistemas acabam gerando interessantes processos na estruturação da biodiversidade, que tem sido foco de diversos estudos sobre a forma como a vida se manifesta e atua no planeta. Desde sempre os seres humanos utilizam elementos da biodiversidade, influenciam e até atuam como força seletiva dessa estrutura. Atualmente, o aumento na escala de impacto dessa atuação humana apresenta diversos desafios à conservação da natureza, bem como a necessidade de entendimento da forma na qual a vida humana se inter relaciona com a vida não-humana.

Desta forma, em um processo ágil de revisão por pares, a Heringeriana visa publicar em acesso aberto e de forma gratuita estudos inéditos e avançados que contribuam com o entendimento de como opera a engrenagem da Biodiversidade, focando aspectos relacionados à composição, função e estrutura dos diversos elementos e níveis de complexidade de organização da vida no mundo natural e no desafio de sua conservação. Com isso, a Heringeriana é uma opção interessante de periódico científico para a submissão de trabalhos que aceleram nosso entendimento sobre a biodiversidade e suas manifestações.

La biodiversidad como un engranaje complejo

Los términos biodiversidad y diversidad están en la boca de todos. A diario, vemos a estos términos en los medios de comunicación, en la política y en las pláticas diarias, pero pocos buscan saber realmente y de manera efectiva, qué significan. En el mundo en que vivimos, con mucha información superficial, hay una creencia colectiva errónea de que la comprensión de los conceptos será alcanzada por las personas por la simple repetición de los términos, no sería necesario hacer una búsqueda por la explicación básica de lo que se repite. Y esto es peligroso, ya que termina resonando en entendimientos sesgados que conducen al empobrecimiento de nuestra percepción y comprensión del mundo que nos rodea. Además, la preocupación por el uso correcto del término es fundamentalmente relevante porque, si no es claramente entendido por todos, la definición de políticas públicas eficientes para su protección se ve socavada en gran medida, perjudicando en consecuencia a toda la sociedad.

Incluso cuando escribimos “concepto de biodiversidad” en nuestro buscador de Internet, nos bombardean con una serie de definiciones precarias, muchas de ellas nada más que un razonamiento circular sobre las percepciones que trae el nombre de “biodiversidad”, asociado con mucha información relevante, pero presentado en un desorden, no contribuyendo eficazmente a la comprensión clara del término.

Diversidad y espionaje

¿Cuál es la mejor forma de engañar al espía enemigo? Imagine que la información sensible a su estrategia se transmite desde su sede a sus agentes en el campo. Siempre existe el riesgo de que esta información sea interceptada por el enemigo, poniendo en riesgo la operación confidencial y la vida de sus agentes. Hay quienes piensan que la mejor forma de engañar al enemigo es ocultar el mensaje de alguna manera. El código cifrado, la caja fuerte utilizada, el sello siempre se puede decodificar, romper o violar. Incluso sistemas complejos, como los que utilizaron los alemanes en la Segunda Guerra Mundial, pueden quedar expuestos si el mecanismo de decodificación cae en manos enemigas, como sucedió con la famosa Máquina Enigma.

Sin embargo, una forma muy eficaz de confundir al enemigo es simplemente saturar su capacidad de descifrar. Imagina que el enemigo está espiando tu transmisión de radio. Si envías un solo mensaje al día, aunque esté extremadamente encriptado, solo tendrán un mensaje para intentar "romper" al día, enfocándose en él todo su esfuerzo, equipo y dedicación. Ahora imagina que pasas las 24 horas del día enviando señales aleatorias, y en solo dos minutos del día pasas información importante diluida en 23 horas y 58 minutos de ruido. Tu enemigo estará confundido por la enormidad de "mensajes" y no sabrá dónde, en medio de tantas señales transmitidas, hacer la búsqueda por la información real.

Una forma de tratar con esto es utilizar los llamados índices de información. Puedes entender lo que está escrito en estas líneas de texto porque hay una lógica de organización de las letras que permite transmitir información. Básicamente, esta información trata sobre qué letras se usan (abundancia de letras usadas) y cómo se repiten a lo largo de las palabras (abundancia en la que aparecen). Los textos escritos con pocas letras acaban por no aportar información, así como los textos donde las letras tampoco se repiten mucho...

Estos dos parámetros, denominados Riqueza y Abundancia, son elementos importantes de la Teoría de la Información y son la base de los índices de diversidad. Cuando aplicamos la Teoría de la Información sobre textos codificados, podemos ver dónde hay más información organizada, identificando dónde debemos centrar la atención y los esfuerzos en su decodificación. Los índices de información se pueden aplicar en una amplia gama de campos de investigación, desde la informática hasta la ecología. Podemos calcular, por ejemplo, cuánta información hay en su carrito de compra en el supermercado, en los libros de su estante o en la ropa de su ropero.

Cuando aplicamos estos conceptos en Ecología, usamos el término *riqueza* para expresar cuántas especies hay en la muestra, y el término *abundancia* para decir cuántos individuos representan cada especie en tal muestra. Así, entendemos que *la diversidad es un índice matemático que expresa la relación entre el número de especies y la abundancia de individuos presentes en un ambiente*. Cuando decimos que un ecosistema tiene mucha diversidad, estamos diciendo que este sistema tiene mucha información biológica. *Entonces, cuando perdemos ecosistemas con alta diversidad, perdemos mucha información biológica.* Agotamos la cantidad de información que nos brinda nuestro Planeta, así como todas las posibilidades que trae de comprender esta información sobre la definición de nuestras estrategias de mirar a la vida y las opciones de futuro.

Todos los apéndices que surjan del uso del término diversidad deben necesariamente expresar la información contenida en el concepto. De lo contrario, solo se están replicando entendimientos sesgados del término…

La organización de la información

La información biológica está organizada en la naturaleza, pero esta organización comprende un arreglo complejo que involucra diferentes niveles y cantidades de información. Toda expresión de vida en el planeta implica esta complejidad de organización, ya sea la información contenida en una pequeña secuencia de ADN o ARN, incluso la biota completa. Así, decir que la biodiversidad se refiere a toda la vida en la tierra o que es la variedad de formas de vida es sumamente simple y, por qué no, terriblemente erróneo, ya que no informa el pilar crítico del concepto que es la organización de la vida, la manifestación de la vida.

Tal preocupación por la organización de la información biológica se debe a que la pérdida de diversidad tiene efectos sobre esta organización. La forma en que el empobrecimiento biológico afecta a esta organización genera diferentes impactos, creando la necesidad de diferentes estrategias de prevención o mitigación. Las pérdidas de diversidad afectan a la organización biológica en diferentes escalas de complejidad de composición, función y estructura. Por tanto, las estrategias de conservación no se pueden pensar de forma fragmentada, centrándose únicamente en las especies. La biodiversidad es mucho más que eso.

Por lo tanto, incluso conceptos ampliamente aceptados, como "*la variedad y variabilidad de todos los organismos vivos y los complejos ecológicos en los que se encuentran, considerando la diversidad de ecosistemas, la diversidad de especies y la diversidad genética*", son defectuosos porque ignoran los procesos ecológicos esenciales para la generación y mantenimiento de la biodiversidad, como interacciones ecológicas, selección natural y ciclos biogeoquímicos. Y ese sigue siendo el concepto que

domina ampliamente entre la sociedad y los tomadores de decisiones.

Por tanto, considerando la importancia de la función, composición y estructura de los diferentes componentes de la biodiversidad (como genes, especies y ecosistemas), el concepto de biodiversidad debe entenderse de manera ampliada para incorporar la importancia jerárquica de la organización de la vida. Como resultado, quiénes y cuántos son estos componentes (composición), cómo están organizados (estructura) y cómo interactúan entre sí y con el medio ambiente (función), son esenciales para comprender la biodiversidad. Este entendimiento es importante porque la mayoría de nuestras políticas públicas orientadas a la conservación, así como la preocupación de la sociedad por la biodiversidad, están fuertemente sesgadas hacia la composición de la biodiversidad, mientras que la estructura y función de estos elementos de la biodiversidad en la naturaleza son, lamentablemente, en gran medida desatendidas.

De esta forma, una buena definición de biodiversidad, que cubra estos temas y sea más integral, puede traducirse como "*es la organización jerárquica de la complejidad biológica en genes, especies, poblaciones, comunidades, ecosistemas y biomas, considerando la composición, función y estructura de todos los elementos de esa organización y sus interacciones*". Creemos que este concepto engloba los procesos que existen entre los diferentes componentes de la biota y evita simplificaciones que son supuestamente perjudiciales para entender qué es la biodiversidad y hacer políticas de conservación realistas. Es importante señalar que esta comprensión de la biodiversidad existe desde hace dos décadas (Figura 1), pero lamentablemente aún no ha sido incorporada adecuadamente por la mayoría de los administradores públicos y, menos aún, por la sociedad. Este es el entendimiento sobre la biodiversidad que aplican los editores de Heringeriana.

La dinámica de la biodiversidad

A pesar de los avances en la comprensión de la biodiversidad, cuando miramos la Figura 1 tenemos la impresión de que la complejidad de la diversidad biológica todavía está compartimentada, restringida a las "cajas" donde se cierra cada componente. Sin embargo, todos estos componentes están fuertemente interconectados por interacciones y procesos ecológicos que permiten la transferencia de masa y energía entre ellos. Una mutación de un gen que expresa una característica seleccionada positivamente interferirá con la supervivencia diferencial de los individuos de la especie, interfiriendo con la composición de la especie en una comunidad, lo que afectará las relaciones tróficas y otras interacciones, dando lugar a cambios en los ecosistemas y por ende en todo lo demás. De manera relacionada, cambios en los paisajes, como la remoción de bosques, afectarán la diversidad de genes presentes en esta región.

Esta transferencia de masa y energía informa que la estructura que se muestra en la Figura 1 no es estática, sino que funciona como un engranaje en constante movimiento. Y es este movimiento el que genera las propiedades emergentes de los ecosistemas, incluidos los servicios ecosistémicos que permiten nuestra supervivencia en el planeta. Incluso la evolución es parte del funcionamiento constante de la maquinaria de la biodiversidad.

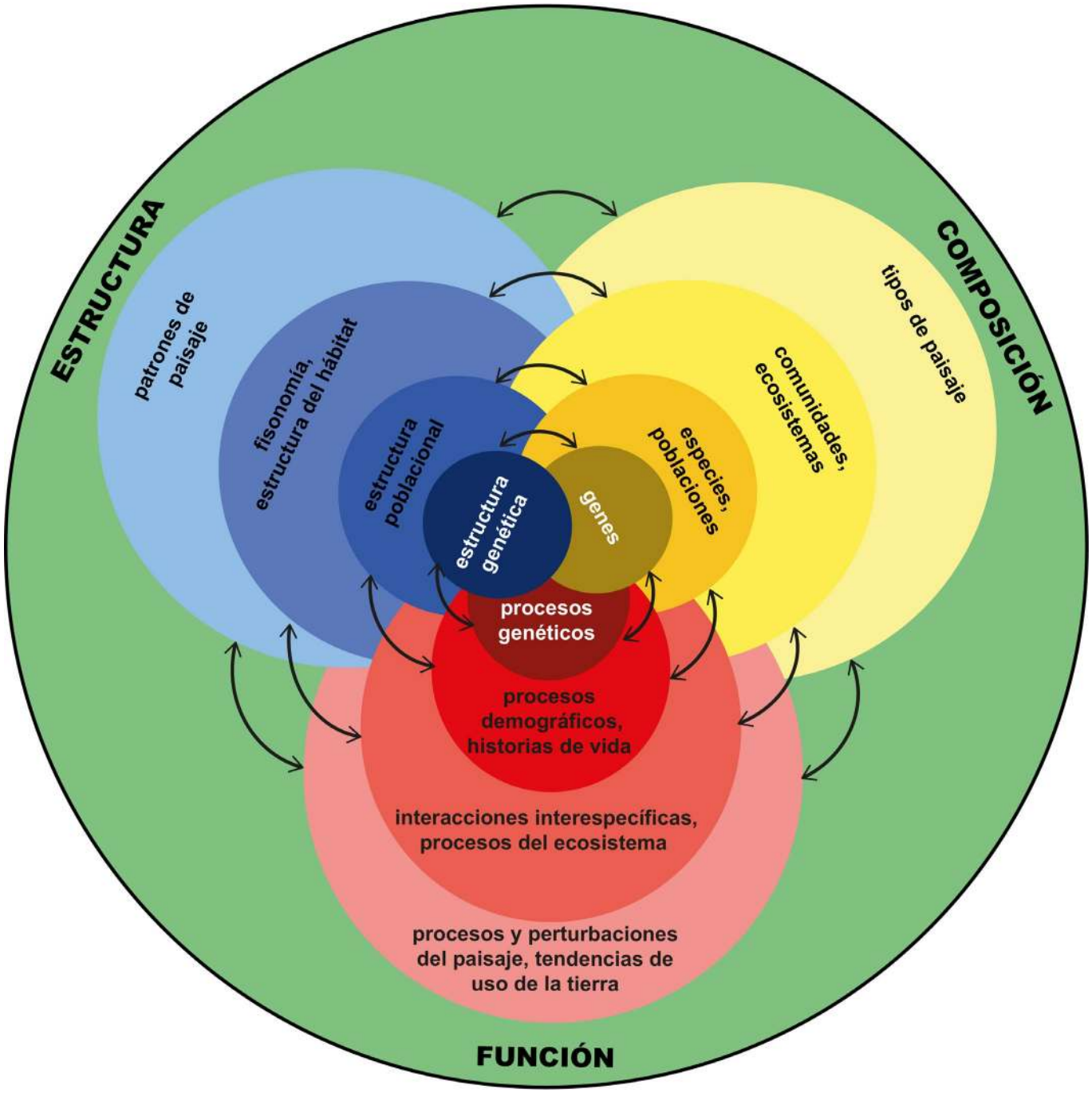


Figura 1. Esquema representativo adaptado de Noss (1990) que muestra la estructura jerárquica de organización de la diversidad biológica, considerando su complejidad de composición, estructura y función.

Otros enfoques

Uno de los temas que se han estudiado recientemente es el papel de la diversidad filogenética, la diversidad taxonómica y la diversidad funcional en la organización de la biodiversidad.

Imagina una situación en la que, en tres áreas diferentes, estudiaremos mamíferos de la Orden Carnivora. Las tres áreas tienen cuatro especies. Esto significa que los tres tienen la misma diversidad taxonómica (especies distintas). En la primera zona hay cuatro especies de felinos. En la segunda zona tenemos un jaguar, un lobo de crin, un jupará y una nutria y en la tercera zona tenemos un gato de monte, un zorro, un perro de monte y un coatí. La primera zona tiene menos diversidad filogenética que las demás, ya que todas las especies carnívoras que tiene son felinos (la historia evolutiva contenida

en esta zona es menor). También tiene menos diversidad funcional, ya que los felinos tienden a utilizar los recursos de manera más similar. La segunda área tiene la mayor diversidad filogenética, ya que alberga a representantes de cuatro familias diferentes (Felidae, Canidae, Procyonidae y Mustelidae), así como una mayor diversidad funcional, ya que engloba a un carnívoro superior (jaguar), un gran carnívoro que se alimenta de varios frutos (lobo de crin), un pequeño carnívoro arbóreo de hábitos omnívoros (jupará) y un depredador acuático exclusivamente carnívoro (nutria). La tercera área alberga una menor diversidad filogenética, ya que alberga a representantes de tres familias, así como una menor diversidad funcional al no tener depredadores de punta de cadena, ni depredadores acuáticos. A pesar de tener la misma riqueza, la cantidad de información ecológica y evolutiva entre estas áreas es diferente.

Estas diferencias en la historia evolutiva y la ecología de los ecosistemas terminan generando procesos interesantes en la estructuración de la biodiversidad, que ha sido el foco de varios estudios sobre la forma en que la vida se manifiesta y actúa en el planeta. Los seres humanos siempre han utilizado elementos de la biodiversidad, influyen e incluso actúan como fuerza selectiva de esta estructura. Actualmente, el aumento en la escala de impacto de esta actividad humana presenta varios desafíos para la conservación de la naturaleza, así como la necesidad de comprender la forma en que la vida humana interactúa con la vida no humana.

De esta forma, en un ágil proceso de revisión por pares, Heringeriana tiene como objetivo la publicación de estudios en acceso abierto, gratuitos, inéditos y avanzados que contribuyan a la comprensión de cómo opera el engranaje de Biodiversidad, enfocándose en aspectos relacionados con la composición, función y estructura de diversos elementos y niveles de complejidad de la organización de la vida en el mundo natural y en el desafío de su conservación. Con esto, Heringeriana es una interesante opción de revista científica para la presentación de trabajos que aceleren nuestro conocimiento de la biodiversidad y sus manifestaciones.

AGRADECIMIENTOS

A Gabriel Vargas Zanatta y Thelma Mendes Pontes por la traducción al español.

READING SUGGESTIONS/SUGESTÕES DE LEITURA/SUGERENCIAS DE LECTURA

Chao, A., Chiu, C. H., & Jost, L. (2014) Unifying species diversity, phylogenetic diversity, functional diversity, and related similarity and differentiation measures through Hill numbers. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, 45: 297-324.

Flynn, D. F., Mirotchnick, N., Jain, M., Palmer, M. I., & Naeem, S. (2011) Functional and phylogenetic diversity as predictors of biodiversity–ecosystem-function relationships. Ecology, 92: 1573-1581.

Keylock, C. J. (2005) Simpson diversity and the Shannon–Wiener index as special cases of a generalized entropy. Oikos, 109: 203-207.

Noss, R. F. (1990) Indicators for monitoring biodiversity: a hierarchical approach. Conservation Biology, 4: 355-364

Pielou, E. C. (1975) Ecological Diversity. Wiley-Interscience, New York

Routledge, R. D. (1979) Diversity indices: Which ones are admissible? Journal of Theoretical Biology, 76: 503-515.

Ulanowicz, R. E. (2001) Information theory in ecology. Computers & Chemistry, 25: 393-399.