

LA INTEROPERABILIDAD SEMÁNTICA COMO SOPORTE PARA LA INTEGRACIÓN DE CONOCIMIENTO GEOGRÁFICO Y AMBIENTAL: CASO DE APLICACIÓN: BIODIVERSIDAD

Doris Mejía Ávila¹, Luis Manuel Vilches Blázquez², Antonio Vázquez Hoehne³

¹Depto. de Geografía y Medio Ambiente
Universidad de Córdoba-Colombia
d.mejia@alumnos.upm.es

²Departamento de Inteligencia Artificial
Facultad de Informática - Universidad Politécnica de Madrid
lmvilches@fi.upm.es

³Escuela Técnica Superior de Ingenieros en Topografía, Geodesia y Cartografía
Universidad Politécnica de Madrid (UPM)
antonio.vazquez.hoehne@upm.es

Resumen

La investigación que se sintetiza en este artículo, se enmarca en los temas de los anexos I y III de la directiva Inspire asociados a hábitat, distribución de especies y sitios protegidos. A continuación se sintetiza el desarrollo de una estrategia de interoperabilidad semántica, la cual fue aplicada al contexto de la biodiversidad. Se estructuró conocimiento asociado a la ecología y distribución geográfica de especies, la caracterización de hábitat y el análisis de integridad ecológica.

La estrategia está conformada por tres componentes: 1) la formulación de una metodología para adquisición de conocimiento en el contexto del desarrollo de ontologías para aplicaciones asociadas a los dominios geográfico y ambiental, la cual ha sido denominada ACATGeo; 2) el desarrollo de ontologías o redes ontológicas asociadas a los dominios mencionados y 3) el uso de las ontologías desarrolladas como medio para generar documentos RDF de integración de datos procedentes de diferentes bases de datos. La combinación de estos tres componentes se convierte en un protocolo que puede ser replicado en el contexto de cualquier aplicación temática asociada a los dominios geográfico y ambiental.

En el marco de esta investigación, dicha estrategia fue aplicada al dominio de la biodiversidad. Usando la metodología ACATGeo, se sintetizó y conceptualizó el conocimiento asociado a las principales metodologías para evaluación del estado de conservación de la biodiversidad. A partir de este conocimiento, se desarrolló la red ontológica denominada *BiodiversityOntology*, la cual fue utilizada para generar documentos RDF de integración de datos de biodiversidad a partir de diferentes bases de datos. El presente artículo se centra en el proceso de desarrollo y contenido de la red ontológica *BiodiversityOntology*.

BiodiversityOntology es la primera versión de una red ontológica que armoniza e integra el conocimiento necesario para la evaluación del estado de conservación de la biodiversidad, integrando métodos y estándares avalados y ampliamente utilizados por la comunidad de la biodiversidad. Ésta contribuye a la disposición semántica de conceptos asociados a la geografía, ciencias ambientales y ecológicas como requerimiento fundamental para disponer en el futuro información en la Web semántica. Adicionalmente, esta red es un recurso potencialmente útil para construir o complementar las estructuras de las bases de datos de biodiversidad.

Palabras clave: Interoperabilidad semántica, Adquisición de conocimiento, Red ontológica, Integración de conocimiento, Biodiversidad, Caracterización de hábitat, Distribución de especies, integridad ecológica

1. Introducción

1.2 El conocimiento complejo

[1] Identifican un tipo de conocimiento llamado complejo, cuyo entendimiento requiere de diversos procesos tales como integrar información a partir de varias fuentes; generación de inferencias; conexión de nueva información con el conocimiento existente; explicación y recuperación de analogías apropiadas; coordinación de diferentes representaciones y perspectivas.

La gran mayoría de subdisciplinas asociadas al contexto ambiental pueden tipificarse como conocimiento complejo; este es el caso de la biodiversidad. La biodiversidad, está definida por la Convención de Diversidad Biológica¹ como “la variabilidad entre seres vivos incluyendo terrestres, marinos y la complejidad ecológica de la cual éstos forman parte; además se incluye la diversidad dentro de especies, entre especies y de ecosistemas”

La biodiversidad relaciona eventos históricos, como movimientos tectónicos en eras geológicas anteriores, o glaciaciones que han influido en la distribución biogeográfica de las especies [2], eventos ambientales como las respuestas de las especies a la energía disponible [3]; [4]; [5] o la composición y estructura paisajística [6]; [7]; [8]; [9]; [10], y procesos funcionales como la interacción entre especies. De esta manera estudiar la Biodiversidad implica relacionar elementos de la Biología, la Geología, la Geografía, la Biogeografía, la Ecología entre otras disciplinas. Adicionalmente, los diferentes niveles de la biodiversidad como las especies, las comunidades y los ecosistemas ocurren y funcionan a diferentes escalas geográficas.

¹<http://www.cbd.int/convention/history.shtml>

1.2 La interoperabilidad semántica como estrategia para integrar conocimiento

La integración del conocimiento solo es posible cuando se logra una homogenización o entendimiento común de los conceptos que constituyen un dominio o área de conocimiento. Establecer un lenguaje común se refiere a la búsqueda de la interoperabilidad semántica. La interoperabilidad semántica [11], [12] está encargada de asegurar que el contenido de la información intercambiada sea entendido de la misma manera por cualquier sistema. De esta forma, el intercambio tiene sentido, porque hay un entendimiento común de la información compartida.

En el contexto de la interoperabilidad semántica las ontologías son las herramientas más avanzadas. [13] definen una ontología como “una especificación formal explícita de una conceptualización compartida. Conceptualización se refiere a un modelo abstracto de algún fenómeno en el mundo mediante la identificación de los conceptos relevantes de ese fenómeno. Explícita significa que los conceptos utilizados, y las limitaciones de su uso están explícitamente definidos. Formal se refiere al hecho de que la ontología debe ser legible por una máquina. Compartida refleja la idea de que una ontología captura conocimiento consensuado, es decir, que no es privado de algún individuo, sino aceptado por un grupo.”

2. Estrategia de interoperabilidad semántica.

La estrategia de interoperabilidad semántica está conformada por tres componentes: 1) la formulación de una metodología para adquisición de conocimiento en el contexto del desarrollo de ontologías para aplicaciones asociadas a los dominios geográfico y ambiental, la cual ha sido denominada ACATGeo, 2) el desarrollo de ontologías o redes ontológicas para una aplicación temática asociada a los dominios mencionados, mediante la combinación de la metodología ACATGeo y una metodología para construcción de ontologías y 3) el uso de las ontologías desarrolladas como medio para generar documentos RDF de integración de datos procedentes de diferentes bases de datos.

La combinación de estos tres componentes se convierte en un protocolo que puede ser replicado en el contexto de cualquier aplicación temática asociada a los dominios geográfico y ambiental.

La metodología ACATGeo (adquisición de conocimiento en el marco de desarrollo de ontologías para aplicaciones temáticas geoespaciales) permite sintetizar y conceptualizar conocimiento que trasciende varios dominios y se sintetiza a diferentes escalas espaciales y temporales. Este conocimiento es estructurado en tres elementos: un Marco Conceptual Integrado (MCI) de conocimiento, un glosario de términos y un modelo de datos. Estos elementos sirven de base para la formalización del conocimiento en una ontología.

3. Aplicación de la estrategia de interoperabilidad semántica para la integración de conocimiento de biodiversidad.

Esta estrategia de interoperabilidad semántica fue probada para la integración de conocimiento en el dominio de la biodiversidad. Mediante la aplicación de la metodología ACATGeo, se centralizó, sintetizó y conceptualizó el conocimiento asociado a la evaluación del estado de conservación a nivel de especie y de ecosistema a diferentes escalas espaciales.

Este conocimiento fue formalizado en una red ontológica denominada *BiodiversityOntology*. Para la construcción de esta red, además de la metodología ACATGeo fue utilizada la metodología *NeOn*[14] para desarrollo de redes ontológicas. Finalmente, se establecieron las correspondencias entre la red *BiodiversityOntology* y cuatro bases de datos de para obtener documentos RDF de integración de datos de biodiversidad.

3.1 Conocimiento a formalizar en *BiodiversityOntology*.

El conocimiento a formalizar en la red ontológica *BiodiversityOntology* se circunscribió al contenido en cinco metodologías para la evaluación del estado de conservación de la biodiversidad, las cuales cubren varios niveles de biodiversidad y diferentes escalas geográficas, como se muestra en la tabla 1

Enfoque	Metodología	Nivel de biodiversidad	Escala geográfica
Evaluación de viabilidad	Categorías y criterios de la lista roja de la UICN [15]	Especie, subespecie, variedad	Global, regional, nacional
	Método para Evaluación de Riesgo a la Extinción de la Vida Silvestre en México [16]	Especie	Nacional
Evaluación de viabilidad e integridad	Factores para la Evaluación de Riesgo a la Extinción NatureServe [17]	Especie, subespecie, variedad, comunidad, ecosistema	Global, regional, nacional
	Evaluación de viabilidad de poblaciones e integridad ecológica [18]	Especie, subespecie, variedad, comunidad, ecosistema	Global, regional, nacional
Evaluación de integridad	Metodología para la evaluación y priorización rápidas del manejo de áreas protegidas RAPPAM [19]	Ecosistema	Regional, nacional

Tabla 1. Metodologías para evaluación del estado de conservación de biodiversidad que conforman la base de conocimiento para la construcción de la red ontológica.

La integración de estas metodologías permitió determinar que el conocimiento relativo a la evaluación del estado de conservación de la biodiversidad está constituido por seis componentes: 1) Impacto de la actividad humana, 2) Vulnerabilidad intrínseca del taxón, 3) Características de la población biológica y su distribución geográfica, 4) Características de hábitat, 5) Importancia biológica de los ecosistemas e 6) Importancia socioeconómica y vulnerabilidad intrínseca de los ecosistemas.

Para el componente de impacto de la actividad humana se sintetizó y conceptualizó el conocimiento asociado a cinco metodologías para identificación de amenazas para objetos de conservación: Evaluación de Riesgo Ecológico de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos[20], Sistema de las 5-S para la Conservación de Sitios[21], metodología para Proyectos de Conservación de FOS², Metodología para la Evaluación y Priorización Rápidas del Manejo de Áreas Protegidas RAPPAM[19], propuesta de Salafsky et al. 2003 [22], el sistema UICN-CMP³, ocho métodos para medición de amenazas y el estándar para clasificación de amenazas de CMP-UICN.

Para la estructuración del componente de vulnerabilidad intrínseca del taxón se tomó en cuenta el Esquema de Transferencia de Conceptos Taxonómicos (TCS) elaborado por TDWG⁴. A este esquema se asociaron los conceptos correspondientes a las características de ecología de una especie o taxón infraespecífico.

²<http://www.fosonline.org/>

³http://iucn.org/about/work/programmes/species/red_list/resources/technical_documents/new_classification_schemes/

⁴<http://www.tdwg.org/standards/>



El componente de población y distribución geográfica se estructuró teniendo en cuenta básicamente cuatro elementos asociados a la población biológica: 1) sus características básicas [23], entre las que se incluyeron: abundancia, edad, natalidad, mortalidad y proporción de sexos; 2) la distribución geográfica principalmente mediante el uso de las variables extensión de presencia y área de ocupación [15] 3) la dinámica poblacional representada por diversas tasas (de mortalidad, de natalidad, de crecimiento, de supervivencia)[24] y las fluctuaciones estacionales, anuales y cíclicas[23]; y 4) los patrones de distribución[25] (distribución aleatoria y uniforme a nivel de individuo y a nivel de grupo).

El concepto de hábitat[26], [27], [28], [29], [30], [31], [32] se sintetizó teniendo en cuenta su variación espacial y temporal[33] y la evaluación de la calidad de hábitat[34] como un proceso relevante en el contexto de la conservación de la biodiversidad.

El componente de importancia biológica del ecosistema, se sintetizó a partir de sus componentes fundamentales: estructura, composición y función, teniendo en cuenta su naturaleza espacio-temporal[35], [36], [37], [38], [39].

El conocimiento asociado a cada uno de estos componentes fue sintetizado en un glosario de términos y un modelo de datos. La figura 1 presenta el modelo de datos para el componente de impacto de la actividad humana.

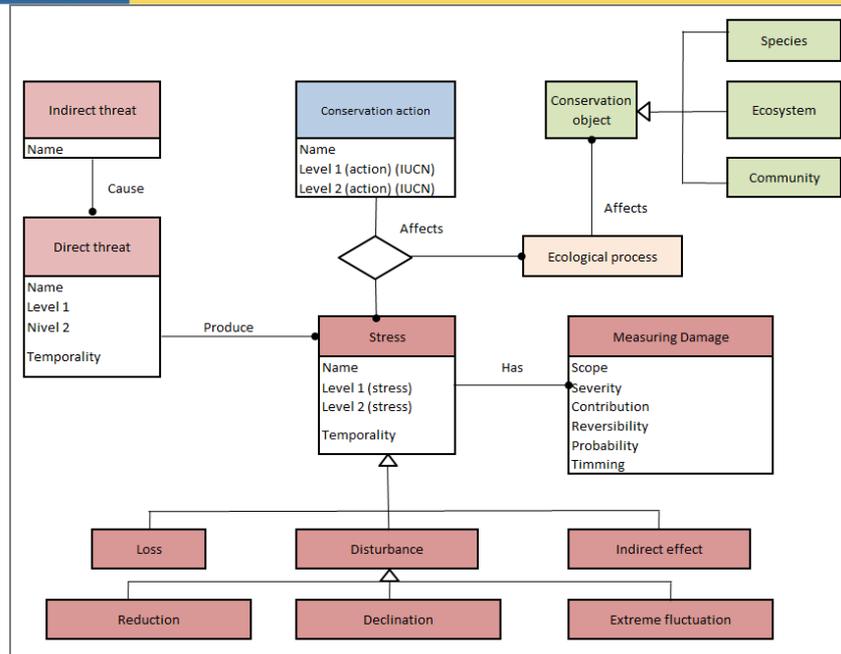


Figura 1. Modelo de datos para el componente de impacto de la actividad humana.

3.2 Red ontológica *BiodiversityOntology*.

El desarrollo de *BiodiversityOntology* se realizó mediante el uso de dos metodologías, ACATGeo para la adquisición y conceptualización del conocimiento y para los demás procesos de formalización del conocimiento se utilizó la metodología NeOn la cual propone el uso de nueve escenarios para construcción de redes ontológicas. La figura xx presenta el esquema de desarrollo de *BiodiversityOntology*.

Una vez sintetizado y conceptualizado el conocimiento a formalizar en la red ontológica, se localizaron los recursos de conocimiento a reutilizar tales como tesauros, léxicos u ontologías asociadas al ámbito de la biodiversidad.

Con base en la disponibilidad de estos recursos se identificaron tres escenarios *NeOn* para el desarrollo de *BiodiversityOntology*: El escenario 1 (formalización de conceptos a partir de cero, 2) Reingeniería y reutilización de recursos no ontológicos y 3) reingeniería y reutilización de recursos ontológicos.

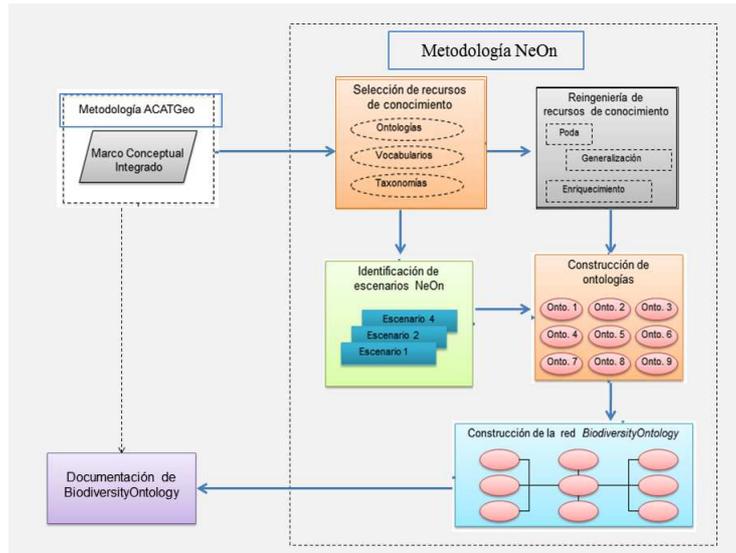


Figura 2. Esquema metodológico seguido para el desarrollo de la red ontológica *BiodiversityOntology*

En la construcción de *BiodiversityOntology* se reutilizaron algunas ontologías existentes en el contexto ambiental y de biodiversidad. Adicionalmente se tuvieron en cuenta los estándares de información de biodiversidad para datos taxonómicos (TDWG), el estándar para clasificación y conservación de amenazas de la IUCN-CMP y el estándar de preferencias de hábitat propuesto por la IUCN⁵ y basado en la clasificación utilizada por el Global Land Cover Characterization (GLCC).

Una vez desarrollados los tres escenarios *NeOn*, se obtuvieron 9 ontologías las cuales fueron articuladas entre sí, para conformar la red ontológica *BiodiversityOntology*. La figura xx presenta el esquema de integración de dichas ontologías.

*BiodiversityOntology*⁶ está conformada por 276 clases, 35 propiedades (*object properties*), 97 atributos (*data properties*) y 261 instancias (*individuals*) y 462 axiomas de clase. En esta red se formalizan conceptos relevantes en el ámbito de la conservación de la biodiversidad. A continuación se exponen algunos ejemplos:

⁵<http://www.iucnredlist.org/technical-documents/classification-schemes/habitats-classification-scheme-ver3>

⁶ <https://138.100.61.21/foldercontent.html?folder=Documents>

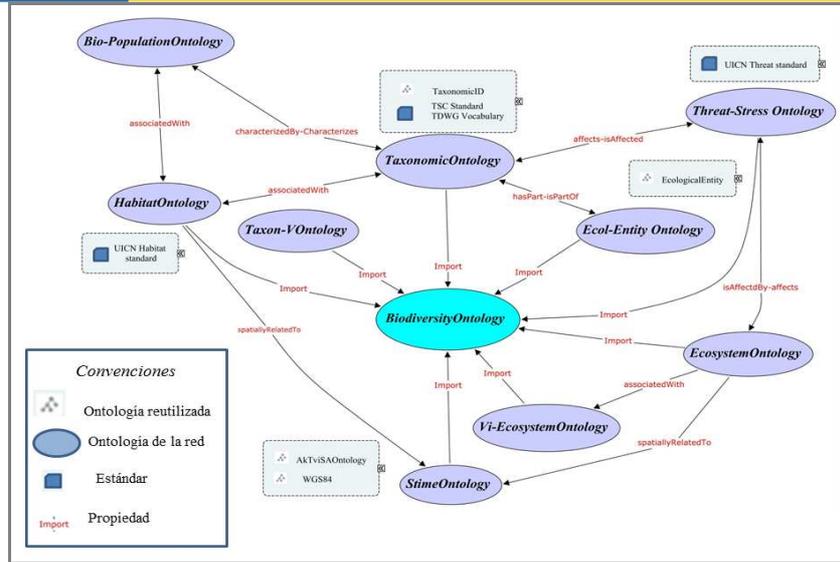


Figura 4. Esquema de la articulación de las nueve ontologías que conforma la red BiodiversityOntology

Ecosistema: Hace parte de un agregado de entidades bióticas y abióticas [*hasPart only AggregateBioticAbioticEntity*]. Un ecosistema está asociado a alguna entidad biótica [*hasAssociated some (Community or Individual or Population)*] y su análisis y caracterización requiere la consideración de tres elementos: composición, estructura y función [*has some EcosystemComposition and has some EcosystemFunction and has some EcosystemStructure*], además está asociado a las características de vulnerabilidad intrínseca de un ecosistema: [*hasAssociated some IntrinsicVulnerabilityOfEcosystem*]. Como un objeto de naturaleza espacial debe tener un área de localización: [*spatiallyRelatedTo min 1 AreaLocation*].

La definición de ecosistema es complementada mediante la definición de los conceptos sitio, paisaje y ecorregión. Por ejemplo la naturaleza de temporalidad del ecosistema se define para cada una de estas escalas porque un "sitio" [*Site*] se asocia a escalas locales [*hasScale some LocalScale*], sus cambios o variaciones en el tiempo se consideran de tipo estacional o efímero

[*hasTemporalPattern* value **Ephemeral** or *hasTemporalPattern* value **Seasonal**], mientras que una ecorregión se asocia a escalas regionales o globales [*hasScales* some (**GlobalScale** or **RegionalScale**)] y su variación en el tiempo se considera relativamente constante [*hasTemporalPattern* value **Constant**].

La articulación entre el impacto de la actividad humana sobre los objetos de conservación se inicia con las amenazas directas las cuales producen daño [*generates* some **Stress**]; el daño puede referirse a una perturbación, una pérdida o un efecto indirecto [*hasPart* only (**Disturbance** or **Loss** or **IndirectEffect**)] que ocurrió en el pasado, está ocurriendo u ocurrirá en el futuro [*hasTimeReference* some (**Past** or **Future** or **Present**)] y que afecta las acciones de conservación que se puedan estar llevando a cabo y los procesos ecológicos [*affects* some **ConservationAction** and **EcologicalProcess**]; además el daño pueden ser cuantificado [*isQuantified* some **MeasuringStress**].

4. Conclusiones.

BiodiversityOntology es la primera versión de una red ontológica que formaliza el conocimiento necesario para la evaluación del estado de conservación de la biodiversidad; fue desarrollada siguiendo las metodologías ACATGeo para adquisición y conceptualización de conocimiento y *NeOn* para construcción de ontologías.

BiodiversityOntology armoniza e integra los conceptos asociados a la ecología y distribución geográfica de especies, la caracterización de hábitat, la identificación y medición de amenazas antrópicas, el análisis de la composición estructura y funcionalidad de ecosistemas a diferentes escalas espaciales y la importancia socioeconómica y vulnerabilidad intrínseca de los ecosistemas.

BiodiversityOntology constituye una contribución a la Informática de la Biodiversidad, ya que es un producto ontológico nuevo que integra conocimiento asociado a la evaluación del estado de conservación de la biodiversidad. Contribuye a la disposición semántica de conceptos asociados a la geografía, ciencias ambientales y ecológicas como requerimiento fundamental para disponer en el futuro información en la Web semántica.

Esta red ontológica es un recurso potencialmente útil para construir o complementar las bases de datos de biodiversidad, dado que el conocimiento formalizado en esta fue recolectado a partir de métodos para evaluación del estado de conservación de la biodiversidad que están avalados y son ampliamente utilizados por la comunidad.

La complementación de estas bases de datos o la construcción de otras con base en *BiodiversityOntology*, permitirá almacenar información que trascienda la taxonomía biológica y las ocurrencias de taxones (actualmente es la información más comúnmente almacenada en las bases de datos disponibles en los portales de biodiversidad). Una vez estructuradas y alimentadas estas bases de datos, se podrá afirmar que los investigadores y gestores de biodiversidad obtendrán un beneficio de la presente investigación, puesto que contarán con mayor variedad de información a niveles de conceptualización que faciliten su consulta.

Referencias

- [1] Holyoak, K.J. The Cambridge handbook of thinking and reasoning, Cambridge Univ Pr.(2005).
- [2] Blondel, J. "From biogeography to life history theory: a multithematic approach illustrated by the biogeography of vertebrates", Journal of Biogeography, vol. 14, no. 5, pp. 405-422(1987)
- [3] Wright, D.H. "Species-energy theory: an extension of species-area theory", Oikos, vol. 41, no. 3, pp. 496-506 (1983)
- [4] Turner, J.R.G., Lennon, J.J. & Lawrenson, J.A. "British bird species distributions and the energy theory" (1988)



- [5] Currie, D.J. "Energy and large-scale patterns of animal-and plant-species richness", *American Naturalist*, vol. 137, no. 1, pp. 27-49 (1991)
- [6] Bell, S.S., McCoy, E.D. & Mushinsky, H.R. *Habitat structure: the physical arrangement of objects in space*, Kluwer Academic Pub (1991)
- [7] Kerr, J.T. & Packer, L. "Habitat heterogeneity as a determinant of mammal species richness in high-energy regions", *Nature*, vol. 385, no. 6613, pp. 252-254 (1997)
- [8] Bellamy, P., Brown, N., Enoksson, B., Firbank, L., Fuller, R., Hinsley, S. & Schotman, A. "The influences of habitat, landscape structure and climate on local distribution patterns of the nuthatch (*Sitta europaea* L.)", *Oecologia*, vol. 115, no. 1, pp. 127-136 (1998)
- [9] Fuller, R., Chamberlain, D., Burton, N. & Gough, S. "Distributions of birds in lowland agricultural landscapes of England and Wales: how distinctive are bird communities of hedgerows and woodland?", *Agriculture, Ecosystems & Environment*, vol. 84, no. 1, pp. 79-92 (2001)
- [10] Joly, K. & Myers, W.L. "Patterns of mammalian species richness and habitat associations in Pennsylvania", *Biological Conservation*, vol. 99, no. 2, pp. 253-260 (2001)
- [11] Sheth, A.P. "Changing focus on interoperability in information systems: From system, syntax, structure to semantics", *Kluwer International Series in Engineering and Computer Science*, , pp. 5-30 (1999)
- [12] Ouksel, A.M. & Sheth, A. "Semantic interoperability in global information systems", *ACM Sigmod Record*, vol. 28, no. 1, pp. 12 (1999)
- [13] Studer, R., Benjamins, V.R. & Fensel, D. "Knowledge engineering: principles and methods", *Data & Knowledge Engineering*, vol. 25, no. 1-2, pp. 161-197 (1998)
- [14] Suárez de Figueroa Baonza, M.C. *NeOn Methodology for Building Ontology Networks: Specification, Scheduling and Reuse*, Facultad de Informática (UPM) (2010)
- [15] IUCN. *Categorías y Criterios de la Lista Roja de la UICN. Versión 3.1*, Comisión de Supervivencia de Especies de la UICN, Gland and Cambridge (2001)
- [16] Sánchez, O. *Método de Evaluación del Riesgo de extinción de las especies silvestres en México (MER)*, Instituto Nacional de Ecología (2007)



- [17] Master, L., Faber-Langendoen, D., Bittman, R., Hammerson, G., Heidel, B., Nichols, J., Ramsay, L. & Tomaino, A. "NatureServe conservation status assessments: factors for assessing extinction risk", NatureServe, Arlington, VA (2009)
- [18] TNC. Guidance for Step 4: Identify Critical Threats in Conservation Action Planning Handbook, , Arlington, VA (2007)
- [19] WWF. Metodología para la evaluación y priorización rápidas del manejo de áreas protegidas *RAPPAM*, WWF Gland, Switzerland. 2003
- [20] USEPA. Guidelines for ecological risk assessment. EPA/630/R-95/002F, Risk Assessment Forum, US Environmental Protection Agency, Washington DC (1998)
- [21] TNC. "The Five-S Framework for Site Conservation: A Practitioner's Handbook for Site Conservation, Planning and Measuring Conservation Success", Nature Conservancy, www.nature.org/summit/files/five_s_eng.pdf (2003).
- [22] Salafsky, N., Salzer, D., Ervin, J., Boucher, T. & Ostlie, W. "Conventions for defining, naming, measuring, combining, and mapping threats in conservation", An Initial Proposal for a Standard System. Draft Version (2003)
- [23] Warrett, G.W. & Odum, E.P. "Fundamentos de ecología". Quinta edición (2006)
- [24] Dajoz, R. & Morales, M.J.L. Tratado de ecología, Mundi-Prensa Libros (2003)
- [25] Dale, M.R.T. "Spatial pattern analysis in plant ecology", *Ecology*, vol. 88, pp. 366-370 (2000)
- [26] Thomas, J.W. "Wildlife habitats in managed forests the Blue Mountains of Oregon and Washington", vol. 553(1979)
- [27] Odum, E.P. & Barrett, G.W. "Fundamentals of ecology". WB Saunders Co., Philadelphia, third edition (1971)
- [28] Whittaker, R.H., Levin, S.A. & Root, R.B. "Niche, habitat, and ecotope", *American Naturalist*, vol. 107, no. 955, pp. 321-338 (1973)
- [29] Kearney, M. "Habitat, environment and niche: what are we modelling?", *Oikos*, vol. 115, no. 1, pp. 186-191 (2006)
- [30] Block, W.M. & Brennan, L.A. "The habitat concept in ornithology", *Current ornithology*, vol. 11, pp. 35-91 (1993)



- [31] Morrison, M.L. & Hall, L.S. "Standard terminology: toward a common language to advance ecological understanding and applications" in *Predicting species occurrences: issues of accuracy and scale*, ed. J.M. Scott, Island Pr. (2002)
- [32] Farina, A. *Landscape ecology in action*, Springer Netherlands (2000)
- [33] Levin, S.A. *The Princeton guide to ecology*, Princeton Univ Pr. (2009)
- [34] Johnson, M.D. & Arcata, C. "Habitat quality: a brief review for wildlife biologists", *Transactions-Western Section of the Wildlife Society*, vol. 41, pp. 31 (2005)
- [35] Apfelbaum, S.I. & Haney, A.W. *Restoring Ecological Health to Your Land*, Island Pr. (2010)
- [36] Maser, C. *Earth in our care: ecology, economy, and sustainability*, Rutgers Univ Pr. (2009)
- [37] Meffe, G.K. *Ecosystem management: adaptive, community-based conservation*, Island Pr. (2002)
- [38] Kimmins, H. & Kimmins, J. *Balancing act: environmental issues in forestry*, Univ of British Columbia Pr. (1997)
- [39] Poiani, K.A., Richter, B.D., Anderson, M.G. & Richter, H.E. "Biodiversity conservation at multiple scales: functional sites, landscapes, and networks", *Bioscience*, vol. 50, no. 2, pp. 133-146(2000)