

Generación automática de descripciones taxonómicas de plantas usando la representación objeto-atributo-valor

Bernardo Serrano-Estrada¹, José Luis Villaseñor², Enrique Ortiz², Miguel Murguía-Romero³

¹ SERES Sistemas Especializados, Estado de México, México

² Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Biología, Departamento de Botánica, México

³ Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Biología, Unidad de Informática para la Biodiversidad, México

miguel.murguia@ib.unam.mx

Resumen. La descripción de especies de plantas y animales es una actividad que realizan los botánicos sistemáticos en grupos específicos de seres vivos y son una fuente de información importante para la ciencia y fundamento del conocimiento científico de la biodiversidad. **Objetivo.** En este trabajo se presenta una herramienta informática para la generación de descripciones taxonómicas de plantas a partir de la información que el especialista registra en una matriz de datos. **Método.** Las características de las especies se especifican en una base de datos mediante tripletas objeto-atributo-valor (v.g., flores – color - blanco), en los que cada atributo es asignado a un grupo u objeto (v.g., Tallo, Hojas, Flores) que es usado para guiar la construcción automática de la descripción de acuerdo con una gramática ATN predefinida. **Resultados.** El sistema web AbaTax construido (www.abatax.abaco2.org) permite al especialista especificar una matriz de datos de un grupo de especies que es usada con dos finalidades: a) servir como una herramienta de identificación para personas no especialistas (sistema experto) y b) la generación automática de descripciones taxonómicas con una redacción muy cercana a la necesaria para su publicación científica. **Conclusiones.** AbaTax es un sistema web que permite la generación de descripciones taxonómicas útiles al no experto, para que pueda conocer mejor el grupo, y al especialista para su publicación científica.

Palabras clave: lenguaje natural, representación del conocimiento, botánica, Ageratina.

Automatic Generation of Plant Taxonomic Descriptions Using the Object-Attribute-Value Representation

Abstract. The description of plant and animal species is an activity carried out by systematic botanists in specific groups of living beings and is an important source of information for science

and the foundation of scientific knowledge of biodiversity. Objective. A computer tool for the generation of taxonomic descriptions of plants from the information that the specialist records in a data matrix is presented. Method. The species characteristics are specified in a database by object-attribute-value triplets (e.g., flowers - color - white), in which each attribute is assigned to a group or object (e.g., Stem, Leaves, Flowers) that is used to guide the automatic construction of the description according to a predefined ATN grammar. Results. The built AbaTax web system (www.abatax.abaco2.org) allows the specialist to specify a data matrix of a group of species that is used for two purposes: a) serve as an identification tool for non-specialists (expert system) and b) the automatic generation of taxonomic descriptions with wording very close to that required for scientific publication. Conclusions. AbaTax is a web system that allows the generation of taxonomic descriptions useful to the non-expert, so that they can better understand the group, and to the specialist for their scientific publication.

Keywords: Natural language processing, knowledge representation, botany, *Ageratina*.

1. Introducción

Hasta la fecha se han registrado 350,980 especies de plantas vasculares en el mundo, y se estima que aún faltan por descubrir cerca de 25% más [1]. En México se ha identificado la presencia de más de 25,000 especies de plantas vasculares [2]. El proceso de anunciar el descubrimiento de una nueva especie sigue un protocolo muy formal, que incluye la publicación en una revista científica de un artículo que contiene la información que describe y justifica esa novedad taxonómica, además de bautizarla asignando un nombre en latín, por ejemplo, *Agave salomonii*.

Una descripción taxonómica es una explicación detallada y ordenada de las características de la especie que permiten distinguirla de otras. Actualmente, el número de nuevas especies de plantas vasculares descritas por año para México ronda en las 100 especies; particularmente, en el año 2022 se publicaron 113 nuevas especies de plantas vasculares [3].

Las descripciones taxonómicas son un elemento indispensable en dos tipos de actividad científica: en el descubrimiento de una nueva especie y en la documentación de las plantas de una región en una “Flora”. Las “Floras” son tratados que incluyen la lista de las plantas, así como las descripciones de los ejemplares que se recolectaron en esa región, por ejemplo, la Flora de Veracruz (v. gr. [4]).

Para que una nueva especie de planta sea reconocida por la ciencia se debe generar una publicación (llamada protólogo) en una revista científica que incluya diversos elementos, como dibujos de las partes de la planta, el nombre asignado y que debe ser en latín y la descripción taxonómica, entre otros.

Las descripciones taxonómicas de plantas son documentos que los botánicos sistemáticos deben generar ya sea en un número elevado, por ejemplo, cuando se involucran en la conformación de una Flora de una región, y en menor número, pero con alta precisión, en la documentación de una nueva especie.

Recientemente se han iniciado los esfuerzos para publicar la “Flora electrónica de México”, un proyecto ambicioso en el que se deberán generar las descripciones taxonómicas de las más de 25,000 especies de plantas vasculares de México [5].

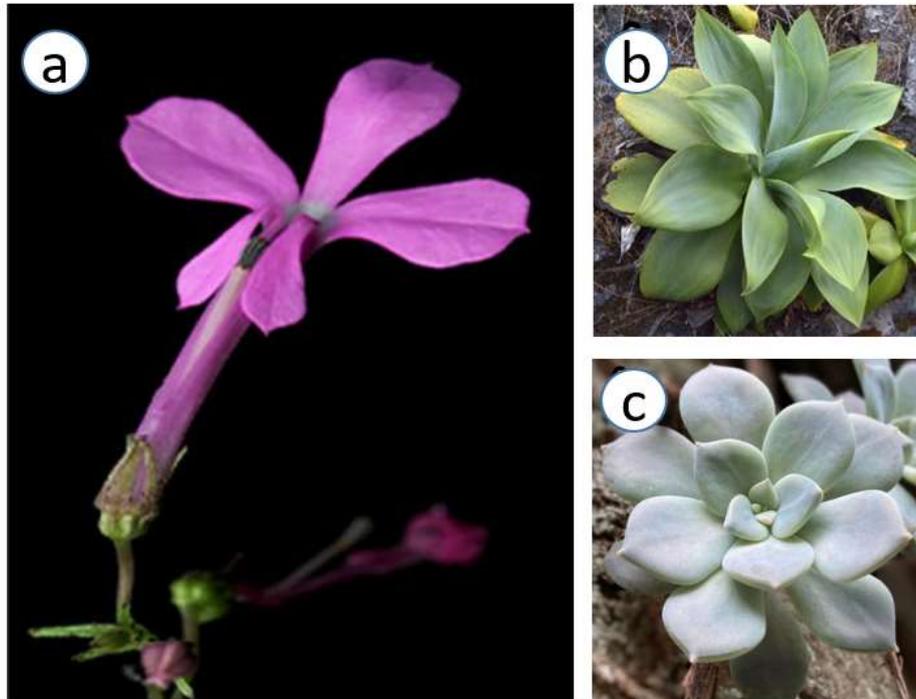


Fig. 1. Ejemplo de especies de plantas nuevas para la ciencia descritas en el año 2022. a) *Lobelia alanae*; b) *Agave rosalesii*; c) *Graptopetalum trujilloi*. Créditos: imágenes tomadas de a) Perez-Perez et al., 2022 [12]; b) y c) Sánchez Sánchez et al., 2023 [3].

1.1. Herramientas para la generación automática de descripciones taxonómicas

Los esfuerzos para generar de forma automática descripciones taxonómicas datan de finales de la década de los 70 y principios de los 80 [6, 7], con programas que procesaban un archivo de texto en un formato denominado DELTA, en el que se asocia una lista de taxones a un esquema jerárquico de los caracteres y los estados de carácter. El formato DELTA fue originalmente creado para especificar la matriz de datos para la generación de claves de identificación, ya sean dicotómicas para su impresión, o policlaves para su uso en la computadora.

Existen trabajos que describen el desarrollo de herramientas para la generación automática de descripciones taxonómicas con base en hojas de cálculo. Por ejemplo, se ha propuesto registrar los datos de cada especie en los renglones y los caracteres como nombres de las columnas, y en cada celda los estados de carácter para cada especie [8].

Esto tiene la desventaja de que en la descripción automática se incluyen todos los nombres de los atributos, resultando con frecuencia en una redundancia de palabras, lo que provoca que la descripción se aleje del lenguaje natural. Otra desventaja es que no se distinguen entre los conectores de conjunción o disyunción (y/o).

Otra alternativa para la generación de descripciones taxonómicas de plantas es el uso de herramientas genéricas. Una de las aplicaciones del método de generación de

descripciones automatizadas ha sido la venta de productos en línea, donde se utilizan palabras claves y una búsqueda en internet sobre el producto para tener más información y poder construir el texto con lenguaje natural.

Un ejemplo es neuraltext (www.neuraltext.com), cuyo sitio web utiliza una función de agrupación de palabras clave y encuentra varias sugerencias para cada término de búsqueda. Otro ejemplo es Quicktools (tools.picsart.com) que utiliza el mismo método que neuralText, con la diferencia de que se puede elegir el “tono” de la descripción, como por ejemplo si será más profesional, amigable, relajado, persuasivo, etc. Sin embargo, estas opciones aún no generan descripciones con grado científico, con la precisión que se requiere en trabajos florísticos o taxonómicos.

El objetivo de este trabajo fue generar un sistema web que apoye al botánico en la generación automática de descripciones taxonómicas, con una redacción cercana al lenguaje natural que requieren las publicaciones de tratados florísticos y especies nuevas.

2. Representación del conocimiento mediante objeto-atributo-valor

La representación del conocimiento mediante tripletas objeto-atributo-valor (OAV) es un formalismo para la representación del conocimiento [10] y ha sido usada ampliamente desde hace varias décadas en los sistemas inteligentes (Van Melle, 1978; Waterman, 1978), principalmente para representar conocimiento declarativo. Ejemplos de tripletas OAV son:

- Hoja – margen – entero,
- Flor – color – roja,
- Fruto – tipo – cápsula.

La representación OAV puede verse como un caso particular de las redes semánticas. En la tripleta OAV, la relación objeto-atributo es del tipo pertenencia (“has a”), mientras que la de atributo-valor es del tipo presencia (“is a”). La representación OAV es una “versión” reducida de las redes semánticas, allí radica su alto poder de representación.

3. Uso de OAV en la generación de descripciones taxonómicas

3.1. OAV como representación del conocimiento taxonómico

Varios de los sistemas que permiten la generación automática de descripciones taxonómicas utilizan de forma implícita OAV para la representación de la información de los taxones o especies de plantas. En esos sistemas, la correspondencia OAV con los atributos botánicos es de tal forma que el objeto lo identifican con la especie de planta, el atributo con la característica y el valor con el estado de carácter. Ejemplos de ellos son:

- *Ageratina adenophora* – disposición de las hojas – opuestas,
- *Ageratina adenophora* – distribución – Michoacán,

- *Ageratina liebmannii* – disposición de las hojas – alternas,
- *Ageratina liebmannii* – distribución – Puebla.

En estas tríadas, el primer elemento, y que corresponde al objeto, es el nombre de la especie, el segundo (atributo) el carácter, y el tercero (valor) el estado de carácter.

Sin embargo, nosotros hemos identificado que una mejor forma de aplicar el OAV para la representación, con el objetivo de generar descripciones taxonómicas es asociar a las partes de la planta con los objetos, dejando a la especie fuera del triplete, o si se quiere ver así, creando una cuarteta:

Ageratina adenophora:

Hojas – disposición – opuestas,
Distribución – estado – Michoacán.

Ageratina liebmannii:

Hojas - disposición – alternas,
Distribución – estado – Puebla.

La correspondencia OAV con la matriz de datos informativos es entonces:

objeto ↔ grupo de caracteres
atributo ↔ carácter
valor ↔ estado de carácter

El objeto (o grupo de caracteres) se identifica generalmente con alguna parte de la planta, como “Hojas” o “Flor”, pero también puede ser de otra naturaleza, como “Distribución”.

3.2. Generación de descripciones taxonómicas

Con base en la representación OAV, se identificó una forma de generar descripciones taxonómicas en lenguaje natural. La adaptación del OAV para la generación de descripciones taxonómicas consistió en:

1. Identificar y clasificar los diferentes atributos asignándolos a un objeto. Por ejemplo, todas las características de la hoja pueden asignarse al objeto “Hojas”.
2. Escribir el nombre del objeto como se desea que se incluya en la redacción de la descripción. Por ejemplo, “Hojas” y no “Hoja”.
3. Escribir los nombres de los valores de los atributos en concordancia gramatical con el nombre del objeto. Por ejemplo, “opuestas” y no “opuesta” ni “opuesto”, para que concuerde con “Hojas”.
4. Los nombres de los atributos están implícitos en la descripción, por lo que sus textos funcionan para documentar la tripleta OAV, pero no se incluyen en la descripción taxonómica. Por ejemplo, “Hojas opuestas”, pero no “Hojas con disposición opuesta”.
5. El usuario establece de forma explícita el orden de los objetos, atributos y valores en la descripción, mediante un número.

Por ejemplo, si se tiene la siguiente representación OAV para una especie:

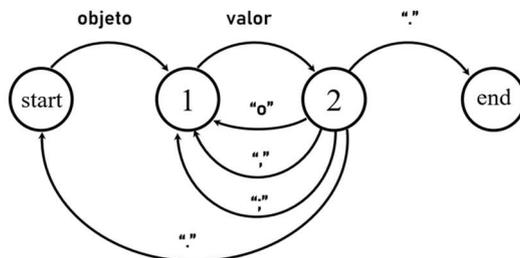


Fig. 2. Red de transición aumentada (ATN) de la gramática definida para la generación automática de las descripciones taxonómicas.

Ageratina adenophora

- Hojas – disposición – opuestas
- Hojas – venación – palmado-nervadas,
- Hojas – forma – lanceoladas,
- Hojas – forma – ovadas,
- Distribución – estado – Ciudad de México,
- Distribución – estado – México,
- Distribución – estado – Michoacán,
- Distribución – estado – Morelos,
- Distribución – estado – Puebla.

Quizá convenga adaptar el nombre del objeto “Distribución” por “Se distribuye en”. Además, es necesario especificar el orden de los valores que se desea en la descripción. Por lo que la lista de OAV podría transformarse en:

- 10. Hojas – disposición – opuestas,
- 20. Hojas – venación – palmado-nervadas,
- 30. Hojas – forma – lanceoladas,
- 40. Hojas – forma – ovadas,
- 50. Se distribuye en – estado – Ciudad de México,
- 60. Se distribuye en – estado – México,
- 70. Se distribuye en – estado – Michoacán,
- 80. Se distribuye en – estado – Morelos,
- 90. Se distribuye en – estado – Puebla.

En esta lista se ha cambiado el nombre del objeto “Distribución” por “Se distribuye en” y el número que inicia el renglón es el orden deseado en la descripción. Así, la descripción generada por el sistema podría ser:

Ageratina adenophora.- Hojas opuestas; palmado-nervadas; lanceoladas u ovadas. Se distribuye en Ciudad de México, México, Michoacán, Morelos o Puebla.

La concatenación de los valores de un mismo atributo se considera una disyunción, por lo que se concatenan mediante “o” (o “u” cuando el siguiente valor comienza con “o”). Por ejemplo, “Hojas lanceoladas u ovadas”.

La concatenación de los valores de diferentes atributos para el mismo objeto se considera una conjunción, por lo que se concatenan mediante “y” o “;”. Por ejemplo, “Hojas opuestas; palmado-nervadas; lanceoladas u ovadas.”



Fig. 3. Interfaz del usuario en AbaTax. En la ventana izquierda se muestran los atributos valores y en la derecha la lista de especies. Se observa el menú pop-up para la generación de descripciones que aparece dando clic sobre el nombre de una especie.

El separador de diferentes objetos es el “punto y seguido”. Por ejemplo, en la descripción: “Hojas opuestas; palmado-nervadas; lanceoladas u ovadas. Se distribuye en Ciudad de México, México, Michoacán, Morelos o Puebla.” se incluyen atributos y valores de dos objetos: “Hojas” y “Se distribuye en”, por lo que antes del segundo se inserta un punto.

La red de transición aumentada (ATN) que especifica la gramática definida (Figura 2) incluye solo dos categorías de palabras (objeto y valor) y tres símbolos constantes (punto, punto y coma y la letra “o”). Los rasgos se han definido como valores booleanos resultado de la comparación entre los objetos y los atributos de pares de nodos conectados. El arco [2, start, ”.]” establece una concordancia objeto(OAV, previo) <> objeto(OAV, actual), mientras que para el arco [2, 1, “o”] la concordancia es objeto(OAV, previo) = objeto(OAV, actual) AND atributo(OAV, previo) = atributo(OAV, actual), y para el arco [2, 1, “;”] la concordancia es objeto(OAV, previo) = objeto(OAV, actual) AND atributo(OAV, previo) <> atributo(OAV, actual). Así, solo los componentes objeto y valor de la tripleta OAV son usados como categorías de palabras, mientras que el componente atributo es usado como rasgo.

4. Resultados

4.1. El sistema Web AbaTax

Con base en las consideraciones sobre la representación mediante OAV de la sección anterior y la gramática ATN definida, se desarrolló el sistema web AbaTax (www.abatax.abaco2.org; Figura 3). Este sistema permite la representación de las características de las especies de plantas mediante OAV y que genera las descripciones taxonómicas de cada especie en un lenguaje cercano al natural, como se requieren en las publicaciones científicas. La representación OAV se diseñó en dos niveles: en la base de datos relacional y en la interfaz del usuario.

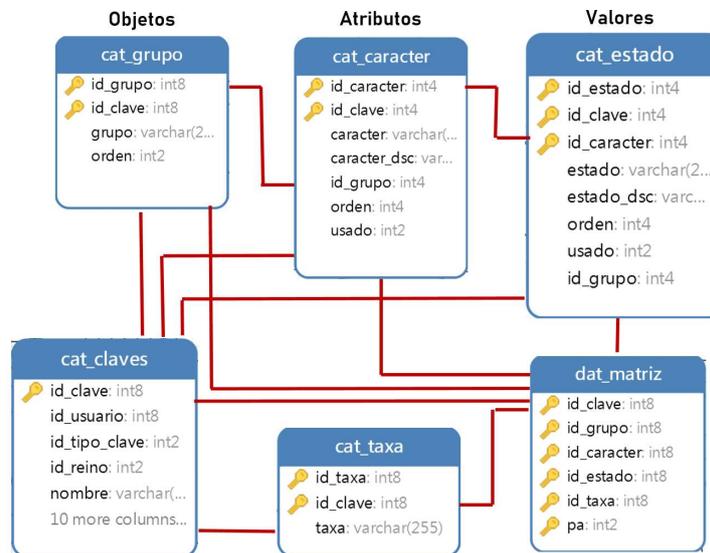


Fig. 4. Diagrama de relaciones de las tablas en las que se representan las tripletas OAV en AbaTax.

Las tripletas OAV también son usadas por el sistema para proveer una interfaz de identificación taxonómica (sistema experto) en la que el usuario indica las tripletas OAV presentes en el ejemplar bajo determinación. Una vez seleccionadas, el sistema filtra las especies congruentes con dichas selecciones [11].

4.2. Representación OAV en la base de datos

La base de datos del sistema AbaTax se implementó en PostgreSQL y está compuesta por más de 60 tablas, de las que seis están directamente involucradas en la representación OAV, y las restantes almacenan información administrativa de los usuarios y del control del despliegue de la interfaz del usuario.

El catálogo de OAV se almacena en tres diferentes tablas: `cat_grupo`, `cat_caracter` y `cat_estado`, que corresponden a los objetos, atributos y valores, respectivamente. En concordancia con lo expuesto en la sección anterior, los objetos corresponden a los grupos de caracteres y no a las especies. En la tabla `cat_taxa` se almacena la lista de especies, y en la tabla `dat_matriz` se especifica la relación de cuáles OAV se asocian a cada especie. En tabla `cat_claves` se almacena el catálogo de grupos de especies (Figura 4).

4.3. Representación OAV en la interfaz del usuario

A nivel de la interfaz del usuario, el OAV se implementó en tres secciones del sistema web: 1) en la interfaz de identificación taxonómica, en la que el usuario puede interactuar seleccionado las OAV presentes en el ejemplar bajo identificación (Figura 3); 2) en la matriz de datos OAV × especies, en la que el usuario puede indicar la

A. adenophora:

_ Árboles, arbustos o hierbas perennes. Hojas opuestas; palmado-nervadas, las venas originándose en la base; lanceoladas u ovadas. Invólucro campanulado; largo, cubriendo más de la mitad o todas la corolas. Brácteas involucrales pubescentes o con tricomas glandulares. Pedúnculos pubescentes o con tricomas glandulares. Lóbulos de la corola pilosos. Cerdas del vilano 3 mm de largo o menos; en una sola serie uniforme. Base obtusa o truncada. Margen dentado o serrado. Pecíolos 1 cm de largo o menos, 1-4 cm de largo o 4 cm de largo o más. Se distribuye en Ciudad de México, México, Michoacán, Morelos o Puebla.

A. bellidifolia:

_ Hierbas perennes. Hojas opuestas; palmado-nervadas, las venas originándose en la base; ovadas. Invólucro campanulado; largo, cubriendo más de la mitad o todas la corolas. Brácteas involucrales con tricomas glandulares. Pedúnculos con tricomas glandulares. Lóbulos de la corola pilosos. Cerdas del vilano 3 mm de largo o menos; en 2 series, la exterior 2 mm largo o menos. Base atenuada. Margen dentado o serrado. Pecíolos 1 cm de largo o menos o 1-4 cm de largo. Se distribuye en México, Michoacán o Puebla.

Fig. 6. Ejemplo de dos descripciones taxonómicas generadas en AbaTax de la policlave “El género *Ageratina* en el centro de México”. Al hacer clic sobre el nombre del taxón en la interfaz se le da la instrucción a AbaTax para que genere su descripción (ventana derecha de la Figura 3).

presencia o ausencia de cada OAV en cada especie (Figura 5a); y 3) en el catálogo de OAV, en la que el usuario puede agregar, modificar o eliminar las tripletas OAV (Figura 5b).

4.4. Generación de descripciones taxonómicas en AbaTax

El sistema web AbaTax permite especificar los valores OAV de grupos de especies a cualquier usuario interesado en generar descripciones taxonómicas. Algunas matrices de datos son públicas estando disponibles a cualquier usuario de la web. Otras son privadas, disponibles solo para el usuario que las generó y a los usuarios para los que él designe permisos. El usuario debe elegir el grupo de especies del que desea generar descripciones taxonómicas, por ejemplo “El género *Ageratina* en el centro de México”.

Después de leer la matriz de datos del grupo de especies seleccionado, el sistema mostrará la lista de las tripletas OAV en la ventana izquierda y la lista de especies en la ventana derecha (Figura 1). Al seleccionar alguna de las especies el sistema generará la descripción taxonómica correspondiente (Figura 6).

4.5. Fortalezas, debilidades y perspectivas

La herramienta construida, incluida el sistema web y la gramática definida, permiten al botánico especificar de una forma rápida las tuplas OAV necesarias para la generación automática de descripciones taxonómicas. Una de las virtudes es que las

a)

ESTADOS/TAXA	A. adenophora	A. amblyolepis	A. areolaris	A. atrocordata	A. bellidifolia
arbóreas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
arbustivas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
sufrútices	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
hierbas perennes	<input checked="" type="checkbox"/>				
trepadoras	<input type="checkbox"/>				
alternas	<input type="checkbox"/>				
opuestas	<input checked="" type="checkbox"/>				

b)

Objetos	Atributos	Valores
<u>Grupos</u>	<u>Caracteres</u>	<u>Estados</u>
Plantas	Forma de vida	arbóreas
Plantas	Forma de vida	arbustivas
Plantas	Forma de vida	sufrútices
Plantas	Forma de vida	hierbas perennes
Plantas	Forma de vida	trepadoras
Hojas	Filotaxia	alternas
Hojas	Filotaxia	opuestas

Fig. 5. Representación de OAV en AbaTax. a) Matriz de datos OAV (renglones) × especie (columnas) editable por el usuario; b) Lista de catálogos de tripletas OAV como se muestran al usuario en el sistema.

descripciones generadas tienen un formato homogéneo. Sin embargo, se deja al usuario la responsabilidad de la redacción adecuada (concordancia) de cada uno de sus componentes, principalmente los objetos y los valores, pues los textos de los atributos no se incluyen en el texto de las descripciones.

Uno de los componentes importantes en las descripciones taxonómicas, que la herramienta no considera, son los adjetivos de frecuencia, por ejemplo, “siempre”, “a veces”, “casi nunca”. Este componente se podrá incluir en futuras versiones de la herramienta de forma sencilla asociándolo a cada tupla OAV, sin necesidad de modificar la red ATN.

El desarrollo de técnicas y herramientas para la generación automática de descripciones taxonómicas como los aquí presentados proveen el fundamento para la generación masiva de descripciones que son necesarias para documentar la flora de regiones con alta riqueza, como lo es la de México.

Las técnicas para el procesamiento del lenguaje natural podrán precisarse y especializarse para cubrir necesidades adicionales como lo es el análisis de textos botánicos para extraer información de forma automática y estructurarla en bases de datos.

5. Conclusiones

La generación de descripciones taxonómicas es una actividad que los botánicos sistemáticos realizan en su quehacer cotidiano como científicos. Mediante la representación del conocimiento objeto-atributo-valor (OAV), implementada en un modelo relacional de base de datos y realizando una correspondencia adecuada con los elementos taxonómicos, el OAV adquiere un alto poder de representación.

Todo esto facilita la generación automática de descripciones taxonómicas en lenguaje natural, cercanas a las requeridas en las publicaciones científicas. Además, la misma base de datos es útil en la generación de herramientas para la identificación taxonómica.

Con ello el sistema aporta dos importantes quehaceres rutinarios del botánico sistemático, la generación tanto de descripciones taxonómicas como la de claves para la identificación de los taxones bajo estudio.

Agradecimientos. Guadalupe Segura ha usado la herramienta AbaTax participando en la construcción de varias matrices de datos OAV, incluida la que se ejemplifica aquí, proponiendo mejoras y detectando errores en el sistema que lo han mejorado sustancialmente.

Referencias

1. Murguía-Romero, M., Ortiz, E., Serrano-Estrada, B., Villaseñor, J. L.: The Kew's "World checklist of vascular plants" and its relevance to the knowledge of the flora of Mexico. *Botanical Sciences*, vol. 101, No. 2, pp. 632–653 (2023) doi: 10.17129/botsci.3223
2. Villaseñor, J. L., Meave, J. A.: Floristics in Mexico today: Insights into a better understanding of biodiversity in a megadiverse country. *Botanical Sciences*, pp. 14–33 (2022) doi: 10.17129/botsci.3050
3. Sánchez-Sánchez, C. D., Velázquez-Ríos, P., Alvarado-Cárdenas, L. O.: 2022, un año récord en descubrimientos botánicos para México. *Sociedad botánica de México, Macpalxóchitl*, vol. 3, no. 2, pp. 34–42 (2023)
4. Nash, D. L., Nee, M.: *Verbenaceae*. Flora de Veracruz, fascículo 41, Instituto Nacional sobre Recursos Bióticos, Xalapa, Veracruz, México, pp. 154 (1984)
5. Sosa, V., Alvarado-Cárdenas, L. O., Duno de Stefano, R., González-Gallegos, J. G., Hernández-Sandoval, L., Jiménez-Rosenberg, R., Ochoterena, H., Rodríguez, A., Vibrans, H., Angulo, D. F.: The online flora of Mexico: eFloraMEX. *Botanical Sciences*, vol. 101, no. 2, pp. 324–340 (2023) doi: 10.17129/botsci.3123
6. Pankhurst, R. J.: The printing of taxonomic descriptions by computer. *Taxon*, vol. 27, no. 1, pp. 35–38 (1978) doi: 10.2307/1220476
7. Dallwitz, M. J.: A general system for coding taxonomic descriptions. *Taxon*, vol. 29, pp. 41–46 (1980) doi: 10.2307/1219595
8. Magalhaes, I. L.: Spreadsheets to expedite taxonomic publications by automatic generation of morphological descriptions and specimen lists. *Zootaxa*, vol. 4624, no. 1, pp. 147–150 (2019)
9. Orłowska, E., Pawlak, Z.: Expressive power of knowledge representation systems. *International Journal of Man-Machine Studies*, vol. 20, no. 5, pp. 485–500 (1984) doi: 10.1016/S0020-7373(84)80023-1

10. Van Melle, W.: MYCIN: A knowledge-based consultation program for infectious disease diagnosis. *International journal of man-machine studies*, vol. 10, no. 3, pp. 313–322 (1978) doi: 10.1016/S0020-7373(78)80049-2
11. Murguía-Romero, M., Serrano-Estrada, B., Ortiz, E., Villaseñor, J. L.: Taxonomic identification keys on the web: tools for better knowledge of biodiversity. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, vol. 92, no. e923592 (2021) doi: 10.22201/ib.20078706e.2021.92.3592
12. Perez-Perez, M. A., Ayers, T. J., Amith, J. D.: A new species of *Lobelia* (Campanulaceae: Lobelioideae) from the Sierra Madre Oriental, Mexico. *Phytotaxa*, vol. 568, np. 1, pp. 1–7 (2022)
13. Waterman, D. A.: A rule-based approach to knowledge acquisition for man-machine interface programs. *International Journal of Man-Machine Studies*, vol. 10, no. 6, pp. 693–711 (1978) doi: 10.1016/S0020-7373(78)80028-5