

Importancia de la Catalogación Digital en la Conservación del Patrimonio Natural: Ficoflora Venezuela, Un Caso de Estudio

Yusney Carballo-Barrera¹, Santiago Gómez-Acevedo²
yusneycarballo@gmail.com, chachacho@gmail.com

¹ Escuela de Computación, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela

² Instituto de Biología Experimental (IBE), Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela

Resumen: La catalogación digital es crucial en la preservación del patrimonio, ya que, al aprovechar las tecnologías digitales es posible garantizar la longevidad y la accesibilidad a materiales patrimoniales valiosos, contribuyendo a su salvaguarda y posibilitando su apreciación como un legado. Centrándonos en el marco de esta investigación, la catalogación digital es un componente esencial para la preservación y difusión de información sobre biodiversidad, contribuyendo al monitoreo efectivo, la conservación y la gestión sostenible de los ecosistemas. En el contexto de la ficoflora de Venezuela, este artículo de revisión documental examina la relevancia de las bases de datos y de los metadatos en la conservación de la diversidad biológica, facilitando la gestión y el acceso a información sobre especies de macroalgas bentónicas marinas, así como los trabajos de investigación y localidades donde se reportan. Primero, se destaca la importancia de los marcos de trabajo y de los estándares de catalogación para asegurar integridad, accesibilidad e interoperabilidad de metadatos y datos, promoviendo la colaboración, la visibilidad de la información y el uso sostenible de la biodiversidad a partir del conocimiento y preservación de sus datos. Luego, se analizan las metodologías empleadas para la sistematización de colecciones biológicas, la digitalización de registros georreferenciados y la creación de catálogos accesibles en línea, describiendo como caso de estudio el Catálogo Digital Ficoflora Venezuela, cuyo objetivo es documentar la diversidad de la ficoflora marina, a la vez que proporciona datos actualizados y con calidad científica para la investigación, la conservación y la educación ambiental. Este trabajo contribuye a la discusión sobre la necesidad de integrar enfoques innovadores en la gestión del patrimonio natural, considerando a la catalogación digital como una herramienta para documentar y proteger recursos tangibles e intangibles, tanto culturales como naturales.

Palabras clave: Ficoflora Venezuela; Catalogación digital; Preservación patrimonio natural; Metadatos de biodiversidad; *Marine algae biodiversity data*; *Digital preservation of biodiversity information*; *Open access databases for biodiversity*.

1. INTRODUCCIÓN

La preservación del patrimonio natural es una tarea crucial en el contexto actual de cambio ambiental y pérdida de biodiversidad. Este artículo de revisión documental se estructura en varias secciones que abordan la importancia de la catalogación digital para la conservación de datos asociados a la ficoflora mundial, y particularmente, la presente en las costas de Venezuela.

La estructura del artículo incluye una sección que detalla los métodos y materiales utilizados para crear catálogos digitales de biodiversidad en general, para luego avanzar a la descripción del caso de estudio: el Catálogo Taxonómico Digital de la Ficoflora de Macroalgas Bentónicas Marinas de Venezuela.

A lo largo del artículo se abordan conceptos, procesos y enfoques presentes en la catalogación digital, como la sistematización de colecciones biológicas, la gestión de datos digitales, la digitalización de registros georreferenciados y la creación de bases de datos accesibles en línea. También se especifican cuáles son los principales marcos de trabajo y estándares reseñados en la bibliografía para la definición de metadatos, la creación de bases de datos de biodiversidad y de catálogos de colecciones naturales.

Para el catálogo digital Ficoflora Venezuela la metodología empleada se basa en la recopilación y análisis de datos sobre la

diversidad de macroalgas bentónicas marinas en las costas de Venezuela, utilizando herramientas digitales para la catalogación y el almacenamiento de información. Se describen cuáles son las fases del proceso de digitalización de la información y la catalogación de registros requeridas para crear un repositorio accesible y útil, tanto para investigadores como para el público en general, a fin de facilitar la toma de decisiones informadas para la gestión y conservación de la ficoflora marina.

El desarrollo de este artículo tiene como objetivo contribuir al entendimiento de la catalogación digital como un recurso esencial para la conservación del patrimonio natural, promoviendo la generación de datos de acceso abierto, la colaboración entre instituciones y el uso sostenible de la biodiversidad marina.

2. LA CATALOGACIÓN DIGITAL COMO HERRAMIENTA PARA LA PRESERVACIÓN DEL PATRIMONIO

En el contexto de la preservación del patrimonio natural y de la biodiversidad marina, la catalogación digital se refiere al proceso de identificación, recopilación y almacenamiento digital de datos, imágenes y registros sobre inventarios de especies, ecosistemas y recursos naturales con el objetivo de asegurar la accesibilidad a esta información y la conservación a largo plazo, a partir de datos basados en conocimiento científico que son objetivos, fiables y comparables [1][2].

Este proceso facilita la toma de decisiones informada, el monitoreo de cambios y la implementación de estrategias efectivas para preservar la biodiversidad. Se apoya en bases de datos y aplicaciones digitales que son diseñadas para contener información detallada sobre especies, hábitats, reportes, ocurrencias, usos, amenazas y medidas de conservación, por lo que es esencial para la actual gestión sostenible de los ecosistemas y sus recursos [3].

En un sentido más amplio, la preservación digital permite que el patrimonio tangible e intangible se representen en formatos que garantizan su longevidad y accesibilidad en el presente y para las generaciones futuras. Lo anterior implica el establecimiento de archivos digitales o de modelos digitales (en 2D y 3D) con los cuales se registra y se conserva información útil para documentar, proteger y dar a conocer especies, artefactos o sitios valiosos [4][5].

El desarrollo de un proyecto de catalogación digital contempla varios conceptos, procesos y enfoques cuyos elementos característicos se indican en la Figura 1.

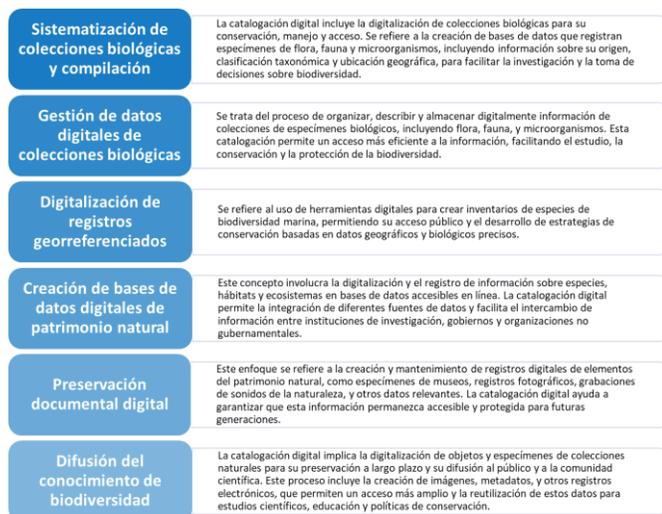


Figura 1: Conceptos, Procesos y Enfoques Presentes en la Catalogación Digital

La “Carta de la UNESCO sobre la Preservación del Patrimonio Digital” destaca la importancia de los proyectos de digitalización para salvaguardar el patrimonio [6]. Las reconstrucciones digitales, las representaciones virtuales, los gemelos digitales y los sistemas informativos integrados introducen metodologías innovadoras para estudiar, preservar y difundir, ofreciendo perspectivas en donde se integran enfoques tradicionales y nuevos, además de herramientas para la conservación y la valorización del patrimonio cultural y natural [7][8][9].

El desarrollo de catálogos digitales es esencial para la conservación de la biodiversidad marina debido a que aporta información de utilidad para:

- Diseñar líneas base, líneas de tiempo o estudios comparativos que permiten analizar la resiliencia de los ecosistemas biológicos frente a perturbaciones naturales o inducidas por acciones humanas [10].

- Conocer la diversidad de los ecosistemas marinos, estimar su valor y definir políticas de protección de áreas marinas protegidas las cuales son cruciales para preservar la biodiversidad y respaldar los servicios ecosistémicos [11].
- Comprender la distribución y abundancia de especies maradoras o monitoras, por ejemplo, la distribución y proliferación de algas marinas como marcadores de impactos naturales o antropogénicos en los entornos marinos [12].
- Descubrir nuevos compuestos bioactivos con propiedades farmacológicas, médicas (con acción anticoagulante, antioxidante o antiproliferativa), alimenticias o industriales, los cuales demuestran la infinita ventana de oportunidades actuales y futuras de la biodiversidad marina, incluidas las macroalgas [13].
- Diseñar proyectos de investigación en las áreas de genética, ecología, etnobotánica, manejo turístico, acuicultura o ecoproducción que requieren información ambiental y de la biodiversidad marina, incluida la ficoflora [14].

La preservación digital de la información asociada con la diversidad biológica o biodiversidad es crucial para monitorear y conservar componentes vitales de los ecosistemas marinos. Hernández [15, p. 17] resalta que la biodiversidad “*constituye per se patrimonio natural vital para la supervivencia de la especie humana. La diversidad de especies, los genes que ellas contienen y los ecosistemas donde viven, son parte importante del patrimonio natural*” ya que de esta diversidad provienen poblaciones de plantas, animales, microorganismos, sustratos y ecosistemas fundamentales para un desarrollo sostenible y el mantenimiento de la vida sobre el planeta.

3. BASES DE DATOS, METADATOS Y ESTÁNDARES ABIERTOS PARA EL REGISTRO DE LA FICOFLOTA

El avance de la informática aplicada al registro y la preservación de la biodiversidad, facilitado por las tecnologías de Internet, permite la gestión de grandes cantidades de datos sobre ficoflora o macroalgas marinas (*marine algae biodiversity data*).

Varias son las plataformas utilizadas para este fin. Algunas permiten visualizar y difundir información sobre la diversidad de grupos específicos, lo que contribuye al estudio y los esfuerzos de conservación por ejemplo de las macroalgas bentónicas marinas o de los invertebrados marinos, por dar dos ejemplos concretos [16][17][18]. Otras plataformas buscan recopilar grandes conjuntos de datos (*datasets*) que se registran en bases de datos de biodiversidad de acceso abierto (*open access databases for biodiversity*), con mapas digitales o atlas en línea de regiones específicas, proporcionando herramientas valiosas para comprender y conservar la biodiversidad marina única de áreas como el Triángulo de Coral en el Indo-Pacífico o las costas del mar Caribe [19][20].

3.1. Metadatos de Registros de Biodiversidad

La creación de bases de datos de patrimonio natural involucra la digitalización y el registro de información sobre especies, hábitats y ecosistemas en bases de datos accesibles en línea. Son bases de datos que integran diferentes fuentes de datos y facilitan el intercambio de información entre instituciones de

investigación, gobiernos y organizaciones, además de recopilar información de utilidad para profesionales en distintas áreas, docentes, estudiantes y el público en general [16].

Para organizar, catalogar y registrar la biodiversidad marina, y en particular de las macroalgas bentónicas, punto focal de nuestros proyectos de investigación, se utilizan bases de datos y también documentos con fuentes bibliográficas, fotografías, mapas, e incluso representaciones digitales de muestras físicas que están en museos naturales o en herbarios. Esta diversidad de recursos requiere de la definición de un conjunto de datos descriptivos de mayor nivel de abstracción denominados metadatos.

Los metadatos, en el contexto de preservación de la biodiversidad, son información estructurada que describe, explica y contextualiza los datos sobre biodiversidad, facilitando su gestión, uso y conservación a largo plazo. Abarcan información sobre descripción de las metodologías usadas para coleccionar los datos, el rango de los datos, fechas, alcance geográfico y taxonómico [21]. Como un ejemplo puntual, los metadatos del *dataset* “*Benthic Macroalgae From the Coasts of Venezuela 1822-2021*” incorporados en el *Caribbean OBIS Node (Ocean Biodiversity Information System)* [20][22][23] se especifican indicando (Figura 2):

- **Title:** Título para el recurso.
- **Type:** Tipo de recurso, contemplando cuatro opciones:
 - Metadatos del recurso (*Resource metadata*).
 - Listas taxonómicas (*Checklist data*).
 - Registros biológicos (Occurrence data).
 - Eventos de muestreo (*Sampling event data*).
- **Publication date:** Fecha de publicación.
- **Metadata last modified:** Fecha de la última actualización de la metadata y de los datos.
- **Project ID:** Código de identificación del proyecto.
- **Hosted by:** Organización publicadora, por ejemplo, *Caribbean OBIS Node*.
- **Network:** Red, por ejemplo OBIS, la cual trabaja en colaboración con GBIF (*Global Biodiversity Information Facility*) y la IOC (*Intergovernmental Oceanographic Commission*).
- **DOI o Digital Object Identifier:** Identificador de Objeto Digital. El DOI es el identificador de preferencia, aunque se pueden indicar otros alternativos.
- **Description:** Descripción del conjunto de datos.
- **Purpose:** Propósito de la investigación o proyecto de recopilación y registro de datos.
- **Temporal scope:** Alcance, ámbito o rango temporal.
- **Geographic scope:** Alcance geográfico y georreferenciación.
- **Taxonomic scope:** Alcance taxonómico.
- **Methodology:** Metodología de muestreo, de recopilación, de procesamiento, de transformación, de estandarización y/o de mapeo de los datos.

- **Additional info:** Información adicional.
- **Bibliography:** Bibliografía utilizada en la especificación de algunos campos del recurso, en particular en la descripción o metodología.
- **Contacts:** Contactos de las investigadoras o los investigadores responsables del proyecto de colección de los datos.
- **Administrative, Technical and Installation contacts:** contacto de la persona(s) encargada de la gestión del proyecto o nodo en el cual se incluye el conjunto de datos.
- **Endpoints:** Puntos de enlace a archivos de especificación de metadatos y de datos en formatos estandarizados e interoperables [24].
- **Endorsed by:** Entidad avaladora, por ejemplo, *Ocean Biodiversity Information System*.
- **Data description language:** Lenguaje en el cual se expresan los metadatos y la data.
- **Citation:** Cita sugerida para el recurso.



Figura 2: Vista Parcial de la Metadata del Conjunto de Datos “*Benthic Macroalgae From the Coasts of Venezuela 1822-2021*”

Los metadatos de preservación son fundamentales para garantizar que los valiosos datos sobre biodiversidad permanezcan accesibles, comprensibles y utilizables, contribuyendo así a los esfuerzos globales de conservación y gestión sostenible de la diversidad biológica. En la Tabla I se precisan doce (12) aspectos que reflejan la relevancia de los metadatos [21][25][26]:

Tabla I: Aspectos que Definen la Relevancia de los Metadatos para la Preservación e Intercambio de Información de Biodiversidad

Aspecto	Relevancia de los Metadatos
1. Interoperabilidad	Contribuyen a la interoperabilidad entre diferentes sistemas y archivos digitales, facilitando el intercambio y la integración de datos de biodiversidad, lo cual es esencial para compartir información entre los elementos involucrados en la conservación (investigación, gestión de áreas protegidas y toma de decisiones políticas).
2. Contextualización	Proporcionan el contexto necesario para interpretar correctamente los datos sobre especies, ecosistemas y recursos genéticos, incluyendo el análisis temporal y espacial.
3. Calidad y Confiabilidad	Los metadatos aumentan la confiabilidad y la calidad de la información al documentar el origen, los métodos de recolección y el procesamiento de los datos de biodiversidad.

Aspecto	Relevancia de los Metadatos
4. Valor científico	Aumentan el valor científico de los datos al permitir su verificación, replicación y reutilización en nuevos estudios e investigaciones sobre biodiversidad.
5. Uso eficaz de la información	Los metadatos permiten una gestión más eficiente de los flujos de datos sobre biodiversidad, lo que lleva a una toma de decisiones más efectiva para definir y apoyar políticas de conservación.
6. Colaboración	Los metadatos, así como las bases de datos, que se estructuran siguiendo estándares mejoran la interoperabilidad y el intercambio de información de utilidad para: <ul style="list-style-type: none"> • Coordinar esfuerzos de conservación entre múltiples organizaciones. • Tomar decisiones informadas y con una visión más completa del estado de la biodiversidad. • Priorizar iniciativas de conservación de manera colaborativa y consensuada.
7. Evaluación de Impacto Ambiental (EIA)	En el contexto de la EIA, los metadatos ayudan a comprender, interpretar y utilizar eficazmente la información sobre la presencia de especies en el espacio y el tiempo, lo cual es necesario para respaldar esfuerzos de mitigación, restauración o compensación de impactos sobre la biodiversidad.
8. Cobertura y Representatividad	Los metadatos asociados a las áreas protegidas y las bases de datos de biodiversidad permiten: <ul style="list-style-type: none"> • Analizar la cobertura de los sistemas de áreas protegidas. • Identificar vacíos en la protección de especies o ecosistemas clave. • Priorizar la creación o expansión de áreas protegidas en zonas subrepresentadas.
9. Identificación de amenazas	Los metadatos pueden incluir información sobre factores de amenaza para la biodiversidad la cual se utiliza para: <ul style="list-style-type: none"> • Identificar las principales presiones sobre especies y ecosistemas. • Priorizar acciones de conservación dirigidas a mitigar amenazas específicas. • Desarrollar estrategias de conservación más efectivas y focalizadas.
10. Priorización y Conservación	Al incluir información sobre fechas, ubicaciones geográficas y contexto los metadatos permiten realizar análisis para: <ul style="list-style-type: none"> • Identificar tendencias temporales o la distribución espacial de la biodiversidad. • Detectar cambios en los ecosistemas a lo largo del tiempo. • Priorizar áreas que requieren intervención inmediata o con alto valor de conservación.
11. Toma de decisiones	Apoyan la toma de decisiones informada en la conservación de la biodiversidad al proporcionar información detallada sobre la procedencia y calidad de los datos.
12. Gestión a largo plazo	Permiten la administración efectiva de colecciones digitales de datos sobre biodiversidad, asegurando su accesibilidad y usabilidad en el futuro.

3.2. Bases de Datos y Acceso Abierto a Información de Diversidad Biológica

Las bases de datos de biodiversidad son herramientas y, a la vez, recursos digitales que contribuyen significativamente a la

investigación y la conservación de la mismas, aportando datos primarios para muchas regiones y grupos taxonómicos [27]. Las bases de datos desempeñan un papel vital en la identificación de taxones, georreferenciación de la ubicación de especies, especificación de fuentes de trabajos de investigación, participantes y de proyectos.

Las bases de datos son una herramienta de prioridad para la preservación, registrando y documentando la biodiversidad de manera eficaz [28], suministran información de utilidad tanto para el registro de las especies, como para el descubrimiento o identificación de especies nuevas, especies raras o de identidad taxonómica incierta [29].

Para diseñar bases de datos de acceso abierto para la preservación de la biodiversidad de la ficoflora es fundamental considerar marcos de trabajo (*frameworks*) de catalogación y estándares que aseguren integridad, cobertura, interoperabilidad y reducción de sesgos en los esfuerzos taxonómicos. Estos marcos y estándares son valiosos porque permiten:

- Establecer un marco abierto para el diseño de bases de datos de biodiversidad, facilitando también su vinculación.
- Compartir y reutilizar metadatos, datos, documentos y recursos digitales.
- Desarrollar ciencia ciudadana que conduzca a un monitoreo más amplio, al apoyo de estudios macroecológicos y a los esfuerzos de conservación.
- Proporcionar información accesible para la conservación y la gestión de la biodiversidad.

En la Tabla II se identifican doce (12) marcos de trabajo (MT) y estándares de interoperabilidad (E) que son utilizados para la creación de bases de datos de uso general y, especialmente, para crear bases de datos específicas interoperables y de acceso abierto para registros de biodiversidad marina [30-41].

Tabla II: Marcos de Trabajo (MT) y Estándares (E) de Interoperabilidad para la Definición de Metadatos y la Creación de Bases de Datos de Biodiversidad

Nombre	Tecnología	Descripción	Ventajas y Limitaciones
OData (<i>Open Data Protocol</i>) (E)	REST ¹ JSON Estándares ISO/IEC: 20802:1, 20801:2, y 20922	Protocolo abierto para consultar y actualizar datos. Creado por Microsoft en 2007.	V: Facilita la creación y consumo de APIs con arquitectura REST. Compatible con múltiples plataformas. L: Puede ser complejo para implementaciones simples.
Dublin Core (E)	XML RDF	Conjunto de elementos de metadatos para describir recursos	V: Ampliamente adoptado. Flexible y extensible. L: Puede ser

¹ Significado de las siglas: REST (*Representational State Transfer*), JSON (*JavaScript Object Notation*), JSON-LD (*JSON for Linking Data*), ISO/IEC (*International Organization for Standardization / International Electrotechnical Commission*), XML (*Extensible Markup Language*), RDF

(*Resource Description Framework*), RDFa (*Resource Description Framework in Attributes*), NetCDF (*Network Common Data Form*), LSID (*Life Science Identifier*), API (*Application Programming Interface*), OGC (*Open Geospatial Consortium*), EML (*Ecological Metadata Language*).

Nombre	Tecnología	Descripción	Ventajas y Limitaciones
		digitales. Desarrollado por DCMI (<i>Dublin Core Metadata Initiative</i>) en 1995.	demasiado general para descripciones detalladas.
Schema.org (E)	JSON-LD RDFa	Vocabulario estructurado para marcar contenido web. Fundado por Google, Microsoft, Yahoo y Yandex en 2011.	V: Mejora la visibilidad en motores de búsqueda. Amplia cobertura de dominios. L: Puede ser complejo para implementar correctamente.
Darwin Core (E)	XML RDF	Estándar para compartir datos de biodiversidad. Desarrollado como Estándar de Información de Biodiversidad (<i>Biodiversity Information Standards</i>) por TDWG (<i>Taxonomic Data Working Group</i>) en 1998.	V: Ampliamente utilizado en biodiversidad. Facilita la integración de datos. L: Puede ser limitado para datos muy especializados.
OBIS-ENV-DATA (<i>OBIS with Environmental Data</i>) (MT)	Darwin Core NetCDF	Extensión de Darwin Core para datos ambientales marinos. Desarrollado por OBIS en 2016.	V: Permite vincular datos biológicos y ambientales. L: Requiere conocimiento de Darwin Core.
EML (<i>Ecological Metadata Language</i>) (E)	XML	Estándar de metadatos para datos ecológicos. Desarrollado por NCEAS (<i>National Center for Ecological Analysis and Synthesis</i>) en 1997.	V: Detallado y específico para ecología. L: Puede ser complejo para usuarios no especializados.
WoRMS (<i>World Register of Marine Species</i>) (MT)	LSID REST API	Registro taxonómico mundial de especies marinas. Lanzado en 2008 a partir del Registro Europeo de Especies Marinas.	V: Proporciona identificadores únicos para especies. L: Enfocado principalmente en taxonomía.
GBIF IPT (<i>Integrated Publishing Toolkit</i>) (MT)	Darwin Core EML	Herramienta para publicar datos de biodiversidad. Desarrollado por GBIF en 2010.	V: Facilita la publicación y compartición de datos. L: Requiere cierta experiencia técnica para su configuración.
<i>Ocean Data Standards</i> (E)	NetCDF OGC	Estándares para intercambio de datos oceanográficos. Desarrollado por el IODE (<i>International</i>	V: Ampliamente adoptado en oceanografía. L: Puede ser complejo para implementaciones pequeñas.

Nombre	Tecnología	Descripción	Ventajas y Limitaciones
		<i>Oceanographic Data and Information Exchange</i> de la UNESCO.	
OAI-PMH (<i>Open Archives Initiative - Protocol for Metadata Harvesting</i>) (MT)	Dublin Core XML	Protocolo para recolección y transmisión de metadatos sobre cualquier soporte electrónico y codificados en Dublin Core. Desarrollado por la OAI (<i>Open Archives Initiative</i>) en 2001.	V: Ampliamente utilizado en repositorios. L: Limitado a metadatos.
ABCD (<i>Access to Biological Collection Data</i>) (E)	XML	Acceso a datos de colecciones biológicas. Desarrollado por TDWG en 2005.	V: Detallado para colecciones biológicas. L: Puede ser complejo de implementar.
MiXS (<i>Minimum Information about Any (x) Sequence</i>) (E)	XML	Información mínima sobre cualquier secuencia genética. Desarrollado por GSC (<i>Genomic Standards Consortium</i>) en 2011.	V: Estandariza metadatos genómicos. L: Requiere conocimientos genómicos.

3.3. Estándares para la Catalogación de Colecciones Biológicas

La representación de los datos de biodiversidad a través del *Access to Biodiversity Collections Data* (ABCD) o del Darwin Core, entre otros estándares, es esencial para un eficaz intercambio e integración de datos asociados la observación de organismos, su taxonomía, localización, contexto ecológico o geológico. Los estándares cuentan al menos con un conjunto de elementos básicos o características que son aplicables en muchos dominios biológicos (por ejemplo la botánica), pero también pueden integrar extensiones hacia subdisciplinas específicas (por ejemplo, listas de verificación taxonómica, herbarios, recursos genéticos), además de establecer colaboraciones con otras organizaciones para adaptar o ampliar un estándar hacia nuevas disciplinas, como la genómica, la metagenómica o las secuencias de marcadores genéticos [42].

Iniciativas como *Integrated Publishing Toolkit* (IPT) o el estándar de datos de descriptores de colecciones *TDWG Latimer Core* abordan los desafíos en el intercambio de datos de biodiversidad a la vez que promueven la ciencia abierta y la movilización de datos digitales [43].

La catalogación de colecciones naturales representa un desafío dada la diversidad de partes interesadas y sus enfoques, incluyendo a investigadoras(es), proyectos, instituciones y patrocinantes, además de usuarios con distintos niveles o necesidades. Sin embargo, se reconoce que la catalogación digital de colecciones biológicas es fundamental para [42]:

- Crear mapas de recursos con muestras que respaldan la investigación taxonómica.
- Localizar y contactar a personas o a instituciones que poseen colecciones y especímenes.
- Destacar la importancia de los museos y de los herbarios.
- Determinar vacíos o ausencia de datos sobre los especímenes en las colecciones.
- Construir un gráfico de conocimiento sobre la biodiversidad en una localidad, área o región.
- Incentivar la definición, financiamiento y desarrollo de proyectos de digitalización y preservación de colecciones.

Hobern *et al.* [44][45] indica que a los catálogos de colecciones de biodiversidad se les puede dar varios usos:

1. Directorio con siglas institucionales y de colecciones estandarizadas.
2. Localización de especímenes y de datos genéticos.
3. Insumo para la creación de bases de datos de colecciones, incluyendo también conjuntos de datos, imágenes, publicaciones, información de expediciones, notas de campo, entre otros recursos de información.
4. Estimación del tamaño, cobertura, brechas y valor de las colecciones.
5. Vincular los datos de los especímenes en las colecciones con publicaciones, proyectos o autoridades externas.
6. Especificar, validar, mejorar y estandarizar métodos de conservación de las colecciones.
7. Reducir la duplicación de esfuerzos de recopilación y curación de datos creando colecciones reutilizables.
8. Hacer más accesible la información de las colecciones, llegando con nuevos enfoques y servicios a un público más amplio, a nuevos usuarios, a agregadores de datos, comunidades de investigadores(as), entes financiadores, agencias gubernamentales o a responsables de definir políticas públicas.
9. Incrementar la citación, atribución y visibilidad de las colecciones, además del vínculo entre sus datos.
10. Comprender cómo la singularidad de su información otorga a las colecciones de biodiversidad un estatus de recurso irremplazable, por lo que la colaboración nacional, continental o global es una vía para integrar esfuerzos y recursos que permitan su incremento, mantenimiento, digitalización, divulgación, entre otras actividades.
11. Generar métricas y obtener indicadores (crecimiento de la colección, calidad de sus datos, utilidad de las especies identificadas, entre otros) que puedan presentarse a partes interesadas en apoyar o financiar el mantenimiento de los catálogos.

Como ya se indicó, la creación de catálogos de colecciones es un desafío porque se necesita lograr una unificación de enfoques, alcanzar una visión y unos objetivos compartidos, definir metadatos y datos interoperables, entre otros requisitos.

Aunque no es un trabajo fácil, en la Tabla III se identifican, a partir de la traducción y adaptación [44], varios estándares de datos de relevancia que ayudan a definir catálogos de

colecciones con datos biológicos, paleontológicos, mineralógicos, geológicos, multimedia, además de otros tipos de elementos físicos o digitales.

Tabla III: Estándares de Datos para Crear Catálogos de Colecciones

Estándar	Descripción
1. Darwin Core (DwC)	Es el estándar más utilizado para compartir datos sobre especímenes de historia natural y observaciones de biodiversidad. Se basa en estándares de metadatos existentes, entre otros el Dublin Core y cuenta con el respaldo repositorios de datos a nivel de especímenes, herramientas o plataformas que colaboran con el <i>Taxonomic Data Working Group (TDWG)</i> .
2. ABCD	Es un estándar alternativo para datos de especímenes que suministra un esquema de catalogación de datos de colecciones biológicas. Se le considera un estándar integral, completo y estructurado para datos de biodiversidad.
3. ABCDEF G	El <i>Access to Biological Collection Databases Extended for Geosciences</i> es una extensión de ABCD desarrollada para catalogar y preservar datos paleontológicos, mineralógicos y geológicos en colecciones digitalizadas.
4. Audubon Core (AC)	Es un conjunto de vocabularios diseñados para representar metadatos para recursos multimedia de biodiversidad (imágenes, audios, videos), cuadernos de campo o las colecciones de dichos recursos.
5. TDWG Collection Descriptions (Latimer Core)	El estándar de datos de descripciones de colecciones de TDWG Latimer Core define un conjunto de clases y propiedades útiles para representar grupos de objetos de colección y su información asociada. Estos incorporan características utilizadas para: <ul style="list-style-type: none"> • Describir, agrupar y desglosar colecciones. • Definir métricas para cuantificar las colecciones. • Crear identificadores persistentes para rastrear colecciones y sus contrapartes digitales. El modelo <i>Collection Descriptions</i> de TDWG es el sucesor natural o la continuación del estándar <i>Natural Collections Descriptions (NCD)</i> .

En este punto, es importante destacar el trabajo del *TDWG Attribution Project*, el cual más que un estándar, es una colaboración entre TDWG y *Research Data Alliance* para mejorar los estándares existentes o crear nuevos, otorgando atribución por el mantenimiento, la conservación y la digitalización de objetos físicos y digitales, con un énfasis especial en las colecciones de biodiversidad. Dos resultados a destacar de esta colaboración son [44][46]:

1. Incorporación de actualizaciones en el estándar Darwin Core y sus plantillas.
2. La actualización del Estándar para la Descripción de Colecciones o *TDWG Collection Descriptions Data Standard* el cual es una herramienta en evolución que busca proporcionar un marco coherente para la descripción de colecciones naturales, mejorando la interoperabilidad entre diferentes recursos de datos, facilitando la agregación y el intercambio de información sobre colecciones naturales y catálogos.

Con el objetivo de facilitar la búsqueda, la identificación, la recuperación y la reutilización de metadatos y datos en colecciones, catálogos, conjuntos de datos o bases de datos, se han establecido los principios FAIR (*Findable, Accessible, Interoperable and Reusable*). Los principios rectores FAIR

(FAIR Guiding Principles) identifican cuatro atributos que hacen posible el descubrimiento, la recuperación y el intercambio de conocimiento por parte de humanos y de máquinas a través de algoritmos y aplicaciones [47][48]:

a) *Findable* (Encontrables)

Para que los datos sean encontrables, deben tener: a) Identificadores únicos, globales y persistentes para todos los recursos de información, sean estos metadatos, listas taxonómicas, registros biológicos o eventos de muestreo. Se recomienda asignar un Identificador de Objeto Digital o DOI a los metadatos y los conjuntos de datos; b) Descriptores a través de metadatos enriquecidos; c) Registro e indexación en recursos.

b) *Accessible* (Accesibles)

Para que los datos sean accesibles: a) Se deben poder recuperar mediante su identificador usando un protocolo estandarizado; b) El protocolo debe ser abierto, gratuito y universalmente implementable; c) Se puede requerir autenticación y autorización cuando sea necesario; d) Los metadatos deben ser accesibles incluso cuando los datos ya no estén disponibles.

c) *Interoperable* (Interoperables)

Para que los datos sean interoperables: a) Deben usar un lenguaje formal, accesible, compartido y ampliamente aplicable; b) Utilizar vocabularios que sigan los principios FAIR; c) Incluir referencias calificadas a otros metadatos.

d) *Reusable* (Reutilizables)

Para que los datos sean reutilizables: a) Deben estar bien descritos con múltiples atributos precisos y relevantes; b) Publicarse con una licencia de uso de datos clara y accesible; c) Asociarse con un fuente de origen o información de procedencia detallada; d) Cumplir con los estándares relevantes de la comunidad.

Los principios FAIR son parte integral del trabajo en ciencia abierta, describiendo pautas para una adecuada gestión de data, con acceso abierto a metadatos y datos de investigación.

En el contexto de la preservación de la biodiversidad de las macroalgas, el uso de estándares, de metadatos y de bases de datos tienen varias aplicaciones, más aún cuando se utilizan para generar publicaciones divulgativas o se incorporan en aplicaciones informáticas que hagan posible el acceso público a la información de colecciones biológicas mediante Internet:

- Listas de verificación (*checklists*) de macroalgas marinas que pueden mejorar la sistemática y la integración de estudios sobre su biodiversidad y claves taxonómicas (*taxonomic keys, identification keys*) para facilitar el proceso de identificación en cualquier nivel de la jerarquía taxonómica [49][50][51, p. 18-27][52].
- Publicaciones de libros, catálogos de especies o guías ilustradas que contribuyen al conocimiento de la biodiversidad en general, o son un aporte a la actualización del conocimiento de un grupo particular, por ejemplo, la ficoflora de macroalgas bentónicas en una región [14][29].
- Bases de datos o conjuntos de datos (*datasets*) de con

información sobre ficoflora y con acceso en línea que desempeñan un papel importante en la organización y el intercambio de datos de biodiversidad con la comunidad científica y el público en general [16][17][22][53].

- Bancos de datos genéticos que se utilizan para la gestión, la conservación y la trazabilidad de biodiversidad marina [54] o también, para corroborar las identificaciones morfológicas de especies [55][56].
- Iniciativas como *Ocean Biodiversity Informatics* (OBI) que progresivamente migró hacia el *Ocean Biodiversity Information System* (OBIS) o el *Integrated Publishing Toolkit* (IPT) que proporcionan herramientas dinámicas e integrales para estudiar la biodiversidad marina o su distribución geográfica [34][43][37].
- Bases de datos de biodiversidad integrales, de alcance geográfico amplio y de acceso abierto que ayudan a visibilizar data de registros de especies y también a identificar las lagunas en los registros, facilitando la preservación de la biodiversidad como es el *Caribbean OBIS Node* o el *Global Registry of Scientific Collections* (GRSciColl) [20][57].

Al adherirse o cumplir con los estándares de catalogación establecidos, aprovechar las bases de datos de biodiversidad de acceso abierto, promover la estandarización, la digitalización de datos y de colecciones, el intercambio de datos y las estrategias de catalogación colaborativa, se incrementa la eficiencia y la eficacia de las iniciativas de preservación de la biodiversidad de las algas marinas, respaldando así los esfuerzos de investigación, conservación y gestión.

4. FICOFLORA VENEZUELA: CATÁLOGO DIGITAL DE ACCESO ABIERTO PARA PRESERVACIÓN DE PATRIMONIO NATURAL

El proyecto Catálogo Taxonómico Digital de la Ficoflora de Macroalgas Bentónicas Marinas de Venezuela, en adelante Ficoflora Venezuela, tiene como objetivo principal preservar y divulgar, en formatos de libre acceso, la información de reportes y registros de macroalgas bentónicas publicada en la bibliografía venezolana e internacional [16].

La costa venezolana presenta una importante diversidad de macroalgas bentónicas marinas, la cual ha sido estudiada y documentada mediante diversos proyectos, sin embargo, se observan situaciones que han dificultado el acceso a estos datos:

- Especies poco documentadas, con identidad taxonómica incierta, raras o distribución geográfica restringida.
- Numerosos trabajos de investigación y referencias bibliográficas que contienen reportes de registros de la ficoflora venezolana no tienen la visibilidad adecuada o exigen una consulta presencial.
- Se carece de datos geográficos de las poblaciones naturales o hay referencias a las localidades de los reportes, pero no se especifican las coordenadas geográficas de su ubicación.
- Los datos están desactualizados o dispersos.
- Se dispone de listas ficoflorísticas, sin descripciones, claves, ilustraciones, ni mapas, haciendo de estas listas herramientas poco prácticas y con bajo atractivo didáctico.

En consecuencia, resulta necesario el levantamiento y sistematización de la información existente en una base de datos estandarizada, eficiente y disponible para consulta web o móvil.

4.1. Importancia de los Catálogos Digitales de Ficoflora

Venezuela posee una importante información florística y taxonómica, pero son datos dispersos que se encuentran en bibliotecas, revistas, libros, informes, trabajos especiales de grado y tesis de postgrado, proyectos, herbarios, entre otras fuentes. En consecuencia, resulta necesario mantener un trabajo constante de revisión de fuentes de información, recopilación de datos, verificación, actualización de cambios en las denominaciones taxonómicas válidas, corrección en algunos casos de impresiones o errores, además de la estandarización de los datos, su registro en bases de datos y la definición de metadatos que los describan [29].

El desarrollo y mantenimiento de catálogos digitales de biodiversidad, como es el caso de Ficoflora Venezuela, es importante porque son herramientas fundamentales para:

a) *Posibilitar el acceso a investigaciones sin barreras geográficas o de horario:* Los catálogos digitales son fuente de información de calidad, verificada y constantemente actualizada, con datos útiles para el desarrollo de la docencia y de proyectos de investigación, conservación o productivos.

b) *Divulgar e incrementar la visibilidad:* Los catálogos digitales en línea dan visibilidad a los proyectos que se desarrollan y ayudan a posicionar en el ecosistema mundial de investigación a quienes los realizan, sus identificaciones, reportes y descubrimiento de nuevas especies.

c) *Preservar en formatos digitales el conocimiento:* La UNESCO ha destacado que los soportes informáticos que permiten el almacenamiento y el respaldo del patrimonio digital, representan “recursos de valor perdurable dignos de ser conservados para las generaciones futuras” [6].

Ficoflora Venezuela constituye así un respaldo mediante tecnologías digitales de trabajos de investigación, catálogos, reportes de campo, notas de investigación o colecciones de exiccatas, incrementando el patrimonio digital del país y ayudando a la preservación de información de biodiversidad que se encuentra, en muchos casos, en formatos analógicos.

d) *Generar datos abiertos y apoyar las metas de desarrollo sostenible:* A partir de proyectos como el Catálogo Taxonómico Digital Ficoflora Venezuela se pueden derivar conjuntos de datos de acceso abierto (*open datasets*) [22]. También suministran información que puede ayudar con el alcance de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 [58] mediante la creación de recursos de información, materiales educativos y servicios de consulta digital.

e) *Suministrar datos de calidad para alimentar tecnologías habilitadoras del acceso al conocimiento:* Los datos almacenados en los catálogos taxonómicos digitales permiten generar información codificada para etiquetas de identificación, taxonomía y descripción de especies (en formato de código de barras o de QR, por ejemplo), suministran datos de georreferenciación de reportes que pueden ser consultados en mapas de acceso abierto, además de permitir la consulta de

especies, investigaciones o localidades en aplicaciones que pueden ser utilizadas desde múltiples dispositivos, en cualquier momento y desde cualquier lugar.

4.2. Proceso de Digitalización en Ficoflora Venezuela

El proyecto Catálogo Digital Ficoflora Venezuela ha permitido registrar reportes de colecciones de algas marinas presentados en trabajos académicos y científicos de distinta naturaleza, publicados desde 1822 hasta el presente. Esta iniciativa se ha desarrollado en distintas fases, iniciando hace más de 35 años con la compilación de reportes de ficoflora en registros almacenados, inicialmente, en hojas de cálculo y utilizando posteriormente gestores de bases de datos relacionales para crear repositorios con entidades y campos normalizados. La creación del Catálogo Taxonómico Nacional de las Macroalgas Bentónicas Marinas de Venezuela, con su base de datos y aplicación web, fue un proyecto desarrollado entre 2012 y 2016 [29]. Desde el 2016 hasta la fecha, se ha desarrollado un esfuerzo de incremento de los registros de reportes, actualización del catálogo e inclusión de herramientas en la aplicación web que permite el acceso a información ficoflorística. El ciclo de vida del proceso de digitalización del proyecto Ficoflora Venezuela tiene siete fases, brevemente descritas en la Figura 3.

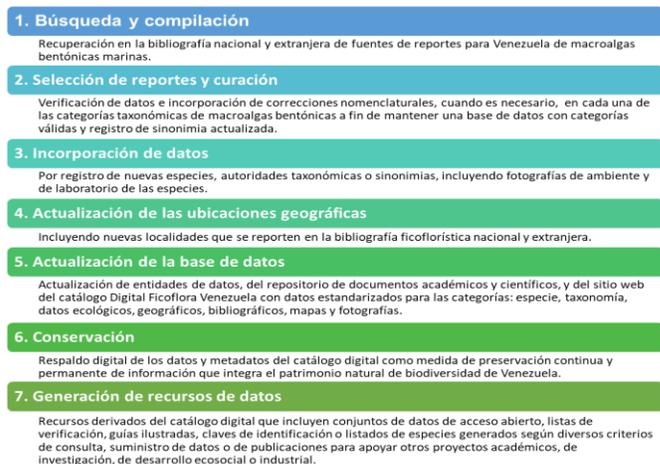


Figura 3: Fases del Ciclo de Vida del Proceso de Digitalización en el Proyecto Ficoflora Venezuela

4.3. Estructura de Metadatos, Base de Datos y Arquitectura de la Aplicación Web del Catálogo Ficoflora Venezuela

El Catálogo Digital Ficoflora Venezuela tiene como núcleo una base de datos de registros de reportes de especies de macroalgas marinas distribuidas en toda la costa continental y de las Dependencias Federales del país. Estos datos se almacenan en cuatro grandes categorías de entidades: 1. Taxonomía, 2. Referencias bibliográficas, 3. Registro de reportes, 4. Ubicación geográfica. En el diagrama de la Figura 4 se observa cómo se agrupan las entidades tablas en cada categoría.

Las entidades de datos preservan la información necesaria para responder a las consultas realizadas en la aplicación Ficoflora Venezuela, según cuatro criterios principales de búsqueda: por especie, por clasificación taxonómica, por ubicación o por referencia bibliográfica. Las consultas generan distintos listados

que pueden paginarse e imprimirse, además de contar con filtros para hacer búsquedas más específicas. La aplicación utiliza MySQL como sistema de gestión de bases de datos [59].

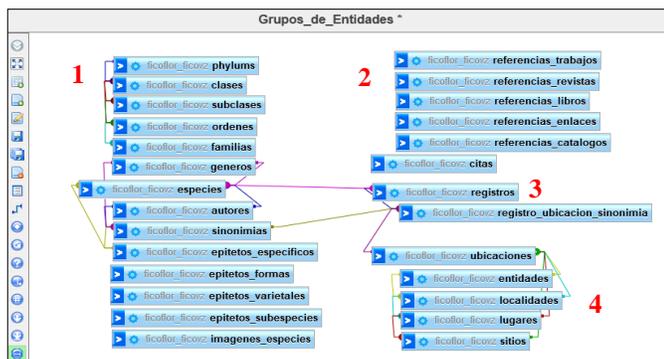


Figura 4: Categorías de Entidades de Datos en el Catálogo Digital Ficoflora Venezuela

De la base de datos se extraen campos que se combinan en una ficha descriptiva para cada especie, en donde se incluye el nombre válido, clasificación taxonómica, sinonimia, fotografías (hábito, detalles morfológicos, detalles anatómicos), reportes, cita a las autoras o los autores de los reportes, la referencia bibliográfica en detalle de las publicaciones, además de mapas con puntos de ubicación georreferenciados (ver Figura 5).



Figura 5: Vista Parcial de la Ficha de Datos de una Especie

En la ficha hay controles que permiten ajustar la cantidad de registros a mostrar en cada página del listado de resultados e incluye filtros que permiten buscar por cualquier texto o elemento de información contenido en la sección de reportes o en la sección de referencias bibliográficas, por lo que es muy útil para ajustar las búsquedas para un autor(a), por año, ubicación, nombre o tipo de publicación, entre otros criterios.

Los mapas generados en el Catálogo Digital Ficoflora Venezuela muestran el punto de ubicación de cada reporte identificando el nombre de la localidad y sus coordenadas (Figura 6), mapas que se puede imprimir, con escalas que se puede aumentar o reducir. Estos mapas son creados utilizando librerías de código abierto de JavaScript, específicamente con librerías y APIs de Leaflet y OpenStreetMap [60][61].



Figura 6: Mapa y Puntos Georreferenciados de Reportes de Especies

4.4. Tecnologías, Módulos y Arquitectura de Software de la Aplicación Catálogo Digital Ficoflora Venezuela

La aplicación web Ficoflora Venezuela es una interfaz que da acceso público a la base de datos y al catálogo digital de macroalgas bénticas de Venezuela y está dirigida a cualquier persona interesada en consultar su inventario, con reportes georreferenciados y actualizados, beneficiando a ficólogos, estudiantes, docentes, investigadores, alguicultores y comunidades interesadas en el desarrollo de modelos ecológicos de producción de algas marinas.

a) Metodología y Tecnologías

La aplicación Ficoflora Venezuela [59][60] se desarrolló siguiendo las fases y lineamientos de la metodología de Desarrollo Adaptable de Software, tiene un diseño adaptativo (*responsive*) que permite su visualización adecuada en móviles y otras pantallas, con interfaces creadas utilizando librerías de código abierto de Bootstrap con códigos basados en HTML, CSS y JavaScript. Para el desarrollo de la aplicación se utilizó el *framework* Laravel, con un patrón de arquitectura de software MVC (Modelo-Vista-Controlador), un motor de gestión de plantillas Blade que permite crear vistas reutilizables, Eloquent para el mapeo objeto-relacional (ORM, *Object-Relational Mapping*) y la gestión de la interacción con la base de datos MySQL. Para la creación de gráficos estadísticos de los reportes incluidos en el catálogo digital se utiliza C3.js. La exportación de listados de datos, de fichas de especies y de mapas en formato de documento portable se realiza mediante la librería mPDF, mientras que para la importación y exportación de plantillas de datos en formato de hoja de cálculo se utiliza la API Laravel-Excel. La aplicación se ejecuta bajo una configuración de Servidor Virtual Privado (VPS, *Virtual Private Services*) con sistema operativo CentOS 8 Stream 8.

b) Módulos y Arquitectura

El Catálogo Digital Ficoflora Venezuela está compuesto por dos módulos (ver Figura 7):

1. Módulo Gestión de Datos y Generación de Estadísticas: Este módulo contiene dos submódulos. El submódulo Gestor de Datos tiene como objetivo principal facilitar la gestión de los datos de los reportes de especies de macroalgas que alimentan e incrementan la base de datos del catálogo digital, permitiendo

que personas que no pertenecen al área de la computación puedan contribuir de manera sencilla y segura a incorporar nuevos datos. El submódulo Generador de Estadísticas es el otro componente, permitiendo la consulta de información cuantitativa consolidada: básicamente cantidades de registros de especies, taxonomías, bibliografías o ubicaciones geográficas que se han incorporado al catálogo digital.

2. *Módulo de Consulta*: Tiene como objetivo servir de interfaz a la información recopilada en la base de datos de reportes de especies, además de suministrar información general sobre el proyecto de investigación Ficoflora Venezuela, el catálogo digital, las opciones de consulta, contactos y créditos.

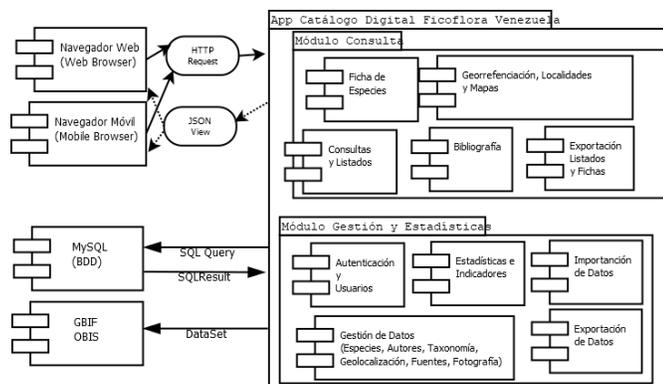


Figura 7: Componentes e Interacciones de la Aplicación Ficoflora Venezuela

4.5. Mapeo de Metadatos del Catálogo Ficoflora Venezuela con Darwin Core y OBIS-GBIF

En marco del Proyecto “*Rescuing the Knowledge Base of Venezuela’s Marine Biodiversity*” (BID-CA2020-025-NAC, 2021-2022) [61] la data del catálogo digital Ficoflora Venezuela se integró al Nodo Caribe en la plataforma OBIS-GBIF mediante el conjunto de datos titulado “*Benthic Macroalgae From the Coasts of Venezuela 1822-2021*”, aportando el mayor número de datos de ocurrencia, con 10.438 registros.

La taxonomía de las especies reportadas en la base de datos Ficoflora Venezuela fue previamente validada utilizando el *World Register of Marine Species* y fue estandarizada bajo Darwin Core, con un formato de datos DwC & GBIF API, en codificación UTF-8 *character encoding*. La correspondencia entre las entidades y campos de la base de datos Ficoflora Venezuela, con los metadatos y datos considerados por parte del GBIF, se realizó respetando el vocabulario de términos definido por Darwin Core a través del mapeo de campos utilizando los recursos del IPT de GBIF: *Metadata, Event, Occurrence, Citations, Multimedia, Verbatim, y Rights*.

5. RESULTADOS

Las algas marinas han constituido un importante recurso biológico para muchos países a lo largo de muchas décadas, lo que ha generado la necesidad de enriquecer el conocimiento taxonómico de este grupo vegetal para así contribuir a su aprovechamiento y conservación.

El Catálogo Digital Ficoflora Venezuela ha documentado la presencia de 705 especies (incluidas categorías infraespecíficas), 257 referencias bibliográficas, 6.237 registros, distribuidos en 11.895 ubicaciones y 574 localidades que abarcan toda la costa del territorio nacional.

Los conjuntos de datos generados, a partir de la base de datos Ficoflora Venezuela y siguiendo estándares de catalogación internacionales como el Darwin Core, alimentan sistemas de información que amplían la visibilidad y el acceso de la comunidad científica global a información de biodiversidad, cumpliendo así con los principios de posibilidad de consulta y recuperación, accesibilidad, interoperabilidad y reusabilidad (FAIR). Iniciativas de este tipo representan un avance significativo para el conocimiento y la investigación de la ficoflora, con importantes implicaciones para la conservación de su biodiversidad y desarrollo sostenible.

6. CONCLUSIONES

La catalogación de registros de reportes de macroalgas marinas, su divulgación y su visibilización aporta información de utilidad para la evaluación de las cuencas hidrográficas, hidrogeológicas y de las zonas marino-costeras de Venezuela. Inventariando estas algas como un recurso hidrobiológico se genera información de valor para su aprovechamiento sustentable.

El Catálogo Taxonómico Digital de la Ficoflora de Macroalgas Bentónicas Marinas de Venezuela también aporta datos con los cuales se pueden identificar algunas especies que producen sustancias tóxicas, ocasionan graves daños directos o indirectos a la salud, son marcadores de alteraciones ambientales o se constituyen, por su proliferación, en elementos dañinos para el ecosistema y para los organismos que lo compartimos. Este catálogo contribuye al desarrollo del conocimiento científico y tecnológico al permitir recopilar en una base de datos de acceso abierto una gran variedad de datos útiles para la conservación y preservación de las macroalgas bentónicas marinas como parte del patrimonio nacional y mundial de biodiversidad.

Mediante la catalogación digital se preserva en el ciberespacio un conocimiento científico útil para reconocer la distribución de nuestra riqueza natural, aumentar la sensibilización ambiental y la protección de la biodiversidad marina como un valor inestimable de la nación.

AGRADECIMIENTOS

El desarrollo de los proyectos enmarcados en esta investigación ha sido posible gracias al patrocinio o al financiamiento de:

- El Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad Central de Venezuela (CDCH-UCV), a través del Proyecto de Grupo PG 03-8643-2013.
- El Fondo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (FONACIT) y el Ministerio de Ciencia y Tecnología, a través de los proyectos PEI- FONACIT-2011001216 y FONACIT 2023PGP247.
- CaribeSur, Proyecto BID-CA2020-025-NAC.
- Apoyo institucional y logístico de la Coordinación de Investigación y de la Coordinación Administrativa de la

Facultad de Ciencias; del Instituto de Biología Experimental, del Centro de Enseñanza Asistida por Computador y del Centro de Computación, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela; del Instituto Experimental Jardín Botánico Dr. Tobías Lasser; del Instituto Pedagógico de Miranda José Manuel Siso Martínez; y del Centro de Investigaciones Ecológicas Guayacán, Núcleo Sucre de la Universidad de Oriente.

REFERENCIAS

- [1] Gobierno de España. *Estrategia de Biodiversidad y Ciencia (2023-2027)*, Ministerio de Ciencia e Innovación, 2023, <https://fundacion-biodiversidad.es/wp-content/uploads/2022/12/ESTRATEGIA-DE-BIODIVERSIDAD-Y-CIENCIA-2023-2027.pdf>.
- [2] Gobierno de España. *Inventario Español del Patrimonio Natural y la Biodiversidad*, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, s.f., <https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/inventarios-nacionales/inventario-espanol-patrimonio-natural-biodiv.html>
- [3] S. Choy, N. Crofts, R. Fisher, N. Lek Choh, S. Nickel, C. Oury, and K. Šlaska. *Directrices UNESCO/PERSIST sobre Selección del Patrimonio Digital para su Conservación a Largo Plazo*, International Journal of Engineering and Advanced Technology, Marzo 2016, https://repository.ifa.org/bitstream/123456789/1220/1/persist-content-guidelines_es.pdf
- [4] A. Ahmad and S. Sharma, S. *Sustainable Digital Preservation and Access of Heritage Knowledge in India*. Desidoc Journal of Library & Information Technology, vol. 40, no. 5, pp. 321-325, Noviembre 2020, <https://doi.org/10.14429/djlit.40.05.15822>
- [5] M. Casas-Pérez, F. Castillo-Rivera, G. Moreno-Chavez, and D. Sarocchi, *Fringe Projection Method's Evolving Role in Cultural Asset Cataloging and Conservation: Potentiality in Testing Conservative Restoration Techniques*, Journal of Anthropological and Archaeological Sciences, vol. 9, no. 3, Abril 2024, <https://doi.org/10.32474/jaas.2024.09.000313>
- [6] UNESCO.org, *Noción de Patrimonio Digital*, UNESCO Collection, 2021, <https://web.archive.org/web/20230612012520/https://es.unesco.org/themes/information-preservation/digital-heritage/concept-digital-heritage>
- [7] A. Gil, *Digital Reconstructions - A Methodology for the Study, Preservation and Dissemination of Architectural Heritage*, Proceedings of the 8th International Congress on Archaeology, Computer Graphics, Cultural Heritage and Innovation ARQUEOLÓGICA 2.0, Valencia, Spain, September 5-7, 2016.
- [8] C. Zou, S-Y. Rhee, L. He, D. Chen, and X. Yang, *Sounds of History: A Digital Twin Approach to Musical Heritage Preservation in Virtual Museums*, Electronics, April 2024, vol. 13, no. 12, 2388, <https://doi.org/10.3390/electronics13122388>
- [9] A. Marra, S. Gerbino, A. Greco, and G. Fabbrocino, *Combining Integrated Informative System and Historical Digital Twin for Maintenance and Preservation of Artistic Assets*, Sensors, vol. 21, no. 17, 5956, June 2021, <https://doi.org/10.3390/s21175956>
- [10] D. Fautin, P. Dalton, L. Incze, J. Leong, C. Pautzke, A. Rosenberg, P. Sandifer, G. Sedberry, J. Tunnell Jr, I. Abbott, R. Brainard, M. Brodeur, L. Eldredge, M. Feldman, F. Moretzsohn, P. Vroom, M. Wainstein, and N. Wolff, *An Overview of Marine Biodiversity in United States Waters*, Plos One, vol. 5, no. 8, e11914, August 2010, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0011914>
- [11] M. Rodríguez-Ruiz, M. Andreu-Cazenave, C. Ruz, C. Ruano-Chamorro, F. Ramírez, C. González, S. Carrasco, A. Pérez-Matus, and M. Fernández, *Initial Assessment of Coastal Benthic Communities in the Marine Parks at Robinson Crusoe Island*, Latin American Journal of Aquatic Research, vol. 42, no. 4, pp. 918-936, August 2014, <https://doi.org/10.3856/vol42-issue4-fulltext-16>
- [12] S. Rouse, J. Loxton, M. Jones, and J. Porter, *A Checklist of Marine Bryozoan Taxa in Scottish Sea Regions*. Zookeys, 787, pp. 135-149, October 2018, <https://doi.org/10.3897/zookeys.787.24647>
- [13] L. Araújo, J. Silva, B. Aguiar, J. Bezerra, A. Rodrigues, and F. Paulini, *Antiproliferative Activity of Marine Brown Algae-Derived Compounds: A Review*, World Journal of Advanced Research and Reviews, vol. 11, no. 1, pp. 060-072, July 2011, <https://doi.org/10.30574/wjarr.2021.11.1.0306>
- [14] S. Gómez-Acevedo, M. García-Ortiz, Y. Carballo-Barrera, y N. Gil-Luna, *Macroalgas Bénticas del Parque Nacional Archipiélago Los Roques Venezuela. Guía Ilustrada*, EdiCiencias UCV, Noviembre 2017, https://www.researchgate.net/publication/377014313_Macroalgas_Bénticas_del_Parque_Nacional_Archipielago_Los_Roques_Venezuela_Guia_Ilustrada
- [15] E. Hernández, *Programa de Desarrollo de Capacidades para el Caribe para el Patrimonio Mundial. Módulo 6 Gestión del Patrimonio Natural*, Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), Mayo 2011.
- [16] Web Ficoflora Venezuela, *Catálogo Digital de la Ficoflora de Venezuela*, publicación electrónica, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Editores: Santiago Gómez, Yusneyi Carballo Barrera, Mayra García y Nelson Gil Luna, Agosto 2024, <https://www.ficofloravenezuela.info.ve/public/index>
- [17] Y. Carballo-Barrera, S. Gómez-Acevedo, M. García-Ortiz, y N. Gil-Luna, *Ficoweb PNALR: Base de Datos Orientada a la Catalogación y Divulgación de las Macroalgas Bénticas Marinas del Parque Nacional Archipiélago Los Roques Venezuela*, LXIV Convención Anual ASOVAC, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias, Caracas, Venezuela, Noviembre 2014, https://www.researchgate.net/publication/271372854_ficoweb_pnalr
- [18] H. Niza, M. Bento, L. Mendes, A. Cartaxana, and A. Correia, *A Picture is Worth a Thousand Words: Using Digital Tools to Visualize Marine Invertebrate Diversity Data Along the Coasts of Mozambique and São Tomé & Príncipe*, Biodiversity Data Journal 9: e68817, May 2021, <https://doi.org/10.3897/BDJ.9.e68817>
- [19] I. Asaad, C. Lundquist, M. Erdmann, and M. Costello, *An Interactive Atlas for Marine Biodiversity Conservation in the Coral Triangle*, Earth System Science Data, vol. 11, no. 1, pp. 163-174, January 2019, <https://doi.org/10.5194/essd-11-163-2019>
- [20] GBIF.org, *Caribbean OBIS Node, Ocean Biodiversity Information System*, Administrative and technical contact Eduardo Klein, <https://www.gbif.org/publisher/1e9400fa-ce73-4737-9eaa-f25df148945c>
- [21] GBIF Secretariat & IAIA, *Buenas Prácticas para la Publicación de Datos sobre Biodiversidad Procedentes de Evaluaciones de Impacto Ambiental*, Colaboradores: Andrew Rodrigues, Dag Endresen, Rui Figueira, Cristina Villaverde, Miguel Vega, Nick King, Asha Rajvanshi, Jo Treweek, Copenhagen, February 2022, <https://doi.org/10.35035/doc-5xdm-8762>
- [22] S. Gómez-Acevedo y Y. Carballo-Barrera, *Benthic Macroalgae from the Coasts of Venezuela 1822-2021*, v1.12, Caribbean OBIS Node, Dataset/Occurrence, November 2022, <https://doi.org/10.15468/pjezmu>
- [23] GBIF.org, *Manual del Usuario del IPT*, Agosto 2024, <https://ipt.gbif.org/manual/es/ipt/latest/how-to-publish>
- [24] GBIF.org, *Estándares de Datos*, Agosto 2024, <https://www.gbif.org/es/standards>
- [25] BID-REX, *Mejores Datos, Mejores Decisiones: Cómo Aumentar el Impacto de la Información sobre Biodiversidad. Informe Técnico de la Fase 1 del Proyecto BID-REX - De los Datos sobre Biodiversidad a la Toma de Decisiones: Mejora del Valor Natural Gracias a Mejores Políticas de Desarrollo Regional*, Interreg Europe, España, ISBN: 978-84-09-10007-1, Marzo 2019.
- [26] Hugging Face, *Perplexity*, <https://www.perplexity.ai>
- [27] M. Troia and R. McManamay, *Filling in the Gaps: Evaluating Completeness and Coverage of Open - Access Biodiversity Databases in the United States*, Ecology and Evolution, vol. 6, no. 14, pp. 4654-4669, July 2016, <https://doi.org/10.1002/ece3.2225>
- [28] J. Gomeau, S. Kulkarni, F. Cala-Riquelme, and L. Esposito, *Measuring What We Don't Know: Biodiversity Catalogs Reveal Bias in Taxonomic Effort*, Bioscience, vol. 73, no. 2, pp. 112-123, February 2023, <https://doi.org/10.1093/biosci/biac116>
- [29] S. Gómez-Acevedo, Y. Carballo-Barrera, M. García-Ortiz, N. Gil-Luna, y A. Castillo, *Creación del Catálogo Taxonómico Nacional de las Macroalgas Bénticas Marinas de Venezuela*, Proyecto CDCH PG 03-8643-2013/1 2016, Diciembre 2016,

- https://www.researchgate.net/publication/312579335_Creacion_del_Catologo_Taxonomico_Nacional_de_las_Macroalgas_benticas_marinas_de_Venezuela
- [30] OData, *OData - The Best Way to REST*, <https://www.odata.org>
- [31] DCMI, *Dublin Core Metadata Initiative*, <https://www.dublincore.org/about/>
- [32] Schema.org, *Schema.org*, <https://schema.org>
- [33] TDWG, *Darwin Core*, Biodiversity Information Standards (TDWG), <https://dwc.tdwg.org>
- [34] D. De Pooter *et al.*, *Toward a New Data Standard for Combined Marine Biological and Environmental Datasets - Expanding OBIS Beyond Species Occurrences*. Biodiversity Data Journal 5., January 2017, <https://doi.org/10.3897/BDJ.5.e10989>
- [35] M. Jones, M. O'Brien, B. Mecum, C. Boettiger, M. Schildhauer, M. Maier, T. Whiteaker, S. Earl, and S. Chong. 2019. *Ecological Metadata Language (EML)*, version 2.2.0, KNB Data Repository, February 2022, <https://eml.ecoinformatics.org>
- [36] WoRMS, *World Register of Marine Species*, <https://www.marinespecies.org>
- [37] GBIF.org, *IPT: The Integrated Publishing Toolkit*, <https://www.gbif.org/ipt>
- [38] IODE, *Ocean Data Standards*, International Oceanographic Data and Information Exchange, <https://www.iode.org/index.php>
- [39] OpenArchives.org, *Open Archives Initiative. Protocol for Metadata Harvesting*, <https://www.openarchives.org/pmh>
- [40] Access to Biological Collection Data task group, *Access to Biological Collection Data (ABCD)*, Version 2.06, Biodiversity Information Standards (TDWG), 2007, <https://abcd.tdwg.org>
- [41] P. Yilmaz *et al.*, *Minimum Information About a Marker Gene Sequence (MIMARKS) and Minimum Information About Any (x) Sequence (MIxS) Specifications*. Nature biotechnology, vol. 29, no. 5, pp. 415-420, May 2011, <http://dx.doi.org/10.1038/nbt.1823>
- [42] J. Wiecek, D. Bloom, R. Guralnick, S. Blum, M. Döring, R. Giovanni, T. Robertson, and D. Vieglais, *Darwin Core: An Evolving Community-Developed Biodiversity Data Standard*. Plos One, vol. 7, no. 1, e29715, January 2012, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0029715>
- [43] OBIS.org, *Marine Biodiversity Data Mobilization Workshop 2024*, April 22-24 2024, <https://obis.org/2024/06/28/biodiv-mob-workshop-2024>
- [44] D. Hobern, A. Asase, Q. Groom, M. Luo, D. Paul, T. Robertson, P. Semal, B. Thiers, M. Woodburn, and E. Zschuschen, *Advancing the Catalogue of the World's Natural History Collections*, v2.0, Copenhagen, GBIF Secretariat, April 2020, <https://doi.org/10.35035/p93g-te47>
- [45] D. Hobern, L. Livermore, S. Vincent, T. Robertson, J.T. Miller, Q. Groom, and M. Grosjean, *Towards a Roadmap for Advancing the Catalogue of the World's Natural History Collections*, Research Ideas and Outcomes 8: e98593, December 2022, <https://doi.org/10.3897/rio.8.e98593>
- [46] SiB Colombia, *Actualización de las Plantillas del Estándar Darwin Core para Publicar Datos Sobre Biodiversidad*, Mayo 2024, <https://biodiversidad.co/post/2024/actualizacion-plantillas-dwc>
- [47] GoFair.org, *FAIR Guiding Principles for Scientific Data Management and Stewardship*, <https://www.go-fair.org/fair-principles>
- [48] OBIS.org, *The Obis Manual - 1.3 Data Policy*, <https://manual.obis.org/policy.html>
- [49] J. Lastimoso and W. Santiañez, *Updated Checklist of the Benthic Marine Macroalgae of the Philippines*. Philipp J Sci, vol. 150, no. S1, pp. 29-92, May 2021, <https://doi.org/10.56899/150.s1.04>
- [50] Y. Carballo-Barrera, M. García-Ortiz, S. Gómez-Acevedo, y N. Gil-Luna, *FICLAV: Una Clave Taxonómica para la División Ochrophyta (Algas Pardas) Utilizando Tecnologías Web y Árboles de Decisión*, XX Congreso Venezolano de Botánica, Universidad Nacional Experimental del Táchira, Táchira, Venezuela, Mayo 2013, https://www.researchgate.net/publication/271372749_ficlav_una_clave_taxonomica_para_la_division_ochrophyta_algas_pardas_utilizando_tecnologias_web_y_arboles_de_decision
- [51] S. Gómez, *Rhodophyta (Algas Marinas Rojas) del Parque Nacional Archipiélago Los Roques*, Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias, UCV, Caracas, Venezuela, Noviembre 1998, https://www.researchgate.net/publication/383660557_Rhodophyta_algas_marinas_rojas_del_Parque_Nacional_Archipielago_Los_Roques_Venezuela
- [52] S. Gómez-Acevedo y M. García-Ortiz, *Macroalgas Bénticas Asociadas a Arrecifes Coralinos y Litorales Rocosos del Parque Nacional "Henri Pittier", Estado Aragua, Venezuela*, Bol. Inst. Oceanog. Venez., vol. 62, no. 01, pp. 17-36, September 2023, <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.18324.10881>
- [53] M. Guiry and G. Guiry, *AlgaeBase*, World-Wide Electronic Publication, University of Galway, August 2024, <https://www.algaebase.org>
- [54] N. González-Henríquez, *Los Bancos Genéticos y su Papel en la Conservación, Gestión y Trazabilidad de la Biodiversidad Marina en Iberoamérica: Caso Península de Santa Elena, Ecuador*, Foro Iberoamericano de los Recursos Marinos y la Acuicultura, no. 9, pp. 30-41, Abril 2020.
- [55] N. Arakaki, P. Carbajal, D. Marquez-Corigliano, S. Suárez, P. Gil-Kodaka, K. Pérez-Araneda, y F. Tellier, *Genética de Macroalgas en el Perú: Diagnóstico, Guía Metodológica y Casos de Estudio*. Inf. Inst. Mar Perú, vol. 48, no. 4, pp. 594-609, Octubre-Diciembre 2021, <https://repositorio.imarpe.gob.pe/bitstream/20.500.12958/3648/1/Informe%2048-4%20articulo8.pdf>
- [56] E. Zepeda, *Algas Marinas Bajo la Lupa de la Transcriptómica*, Abril 2021, <https://avanceperspectiva.cinvestav.mx/algas-marinas-bajo-la-lupa-de-la-transcriptomica>
- [57] GBIF.org, *Global Registry of Scientific Collections. A Worldwide Catalogue of Scientific Collections*, <https://scientific-collections.gbif.org>
- [58] ONU, *ODS*, <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible>
- [59] M. Pinzón, *Desarrollo de los Módulos de Gestión de Datos, Generación de Estadísticas y Consultas del Catálogo Taxonómico Digital de Macroalgas Bénticas Marinas "Ficoflora Venezuela"*, Trabajo Especial de Grado, Escuela de Computación, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela, Octubre 2015.
- [60] Y. Carballo-Barrera, S. Gómez-Acevedo, M. García-Ortiz, y N. Gil-Luna, *Desarrollo de las Aplicaciones Informáticas del Catálogo Taxonómico Digital de Macroalgas Bénticas: Ficoflora Venezuela*, Jornadas de Investigación y Extensión de la Facultad de Ciencias, UCV, Mayo 2016, https://www.researchgate.net/publication/303644078_Desarrollo_de_las_aplicaciones_informaticas_del_Catologo_Taxonomico_Digital_de_Macroalgas_Benticas_Ficoflora_Venezuela
- [61] A. Peralta-Brichtova, J. Scott-Frías, C. Carmona-Suarez, C. Rodríguez, J. Perez-Benítez, A. Lopez-Ordaz, B. Marquez-Rojas, C. Lira, S. Gómez-Acevedo, Y. Carballo-Barrera, B. Rodríguez, F. Cavada-Blanco, J. Delgado, and E. Klein, *Literature-Based Occurrences Data of Marine Species in Venezuela*, Biodiversity Data Journal, vol. 11, e98213, February 2023, <https://doi.org/10.3897/BDJ.11.e98213>