

IDENTIFICACION DEL PROYECTO

Título: Sistema de bases de datos biológicos para los estudios de cambios globales (PN Cambios Globales)

Institución cabecera: Instituto de Ecología y Sistemática

Jefe de Proyecto: Francisco Cejas Rodríguez

COLECTIVO DE AUTORES

Nombre y Apellidos	Grado	Categoría	%	Institución
Adriana Lozada		Asp. Inv.	2	IES
Aida Menéndez		Técnico	5	IES
Amarylis Correoso		Aux. Inv.	20	IES
Angel Daniel Díaz		Aux. Inv.	20	IES
Arturo Avila	MSc	Inv. Agr.	20	IES
Arturo Hernández		Técnico	11	IES
Bertha Lidia Toscano		Técnico	20	IES
Carlos Mancina	MSc	Asp.Inv.	30	IES
Cecilia Marín		Aux. Inv.	20	IES
Dayami García		Técnico	3	IES
Elba Reyes		Aux. Inv.	20	IES
Francisco Cejas	MSc	Inv. Aux.	60	IES
Heriberto Rodríguez		Ilustrador	10	IES
Ignacio Ramos	MSc	Inv. Agr.	30	IES
Isora Baró	MSc	Inv. Agr.	20	IES
Jacqueline Perez	MSc	Inv. Agr.	20	IES
Dely Rodríguez		Asp.Inv.	28	IES
José A. Bastart	MSc	Inv. Agr.	10	IES
Lazara Sotolongo	MSc	Asp. Inv.	10	IES
Luisa Ventosa	MSc	Asp.Inv.	20	IES
Ma. Mercedes León		Asp. Inv.	10	IES
Ma. Tomasa González		Aux. Inv.	20	IES
Mercedes Reyes		Aux. Inv.	20	IES
Miriam Prede	MSc	Asp.Inv.	30	IES
Nancy Ricardo	Dr.	Inv.Tit.	15	IES
Pedro Blanco		Inv. Agr.	2	IES
Pedro P. Herrera		Inv. Agr.	20	IES
Rafacla Aguilera		Aux. Inv.	20	IES
Rodolfo Sánchez		Aux. Inv.	7	IES
Sonia Rosete	MSc	Asp.Inv.	10	IES

Yamilet Alvarez	MSc	Asp.Inv.	20	IES
Francisco A. Fernández	Dr.	Inv. Aux.	30	CITMATEL
Reymes Madrazo		Asp. Inv.	30	CITMATEL
Orlando Novua Alvarez		Inv. Agr.	15	IGT
Israel Tamarit Herrán		Cartog.. A	20	IGT

CORRESPONDENCIA ENTRE LOS OBJETIVOS PLANTEADOS Y LOS RESULTADOS ALCANZADOS

En general nos propusimos cinco resultados principales, cuyos enunciados son, junto con las tareas previstas para obtenerlos:

Enunciado de los Resultados

- 01 Información botánica, zoológica y ecológica, implementada en un Sistema de Información Geográfico
Actualización y desarrollo de BD alfanuméricas y espaciales botánicas y zoológicas
 - Coordinar Redes Nacionales de Colecciones Biológicas
 - Implementación y carga del SIG
 - 02 Sistema de Administración de bases de datos botánicas y zoológicas
 - Diseño sobre WINDOWS de un sistema de administración de BD biológicas
 - 03 Catálogo electrónico multimedia de las especies de plantas vasculares cubanas
 - Compilación de información existente sobre plantas vasculares cubanas
 - Digitalización de imágenes y texto para un posible Catálogo electrónico multimedia
 - 04 Clave para la identificación de los géneros de la familia Asteraceae en Cuba
 - Desarrollo de la clave para la identificación de los géneros de Asteraceae cubanas
 - 05 Bases de datos georreferenciadas para la generación de esquemas de distribución
 - Interconexión de las bases de datos georreferenciadas con un Sistema de Generación de esquemas de distribución
-

CORRESPONDENCIA ENTRE LA RELACION COSTO - BENEFICIO ALCANZADA Y LA PREVISTA

Previsto	Alcanzado
Información botánica, zoológica y ecológica, implementada en un Sistema de Información Geográfico	Se compilaron y revisaron las bases de datos botánicas y zoológicas existentes en varias instituciones, a partir de las que se crearon ficheros de referencia que sirviesen como fuentes de descriptores, lo que permitió estandarizar la información existente y apoyar la Red Nacional de Bases de Datos Botánicos, adjunta a la Red Nacional de Herbarios y la futura implementación de la Red de Colecciones Zoológicas. Con las bases de datos georreferenciadas creadas por ColBases se facilitó la confección de mapas de distribución de grupos taxonómicos, que al relacionarlas con los datos espaciales medioambientales que poseen diversas instituciones cubanas, nos permitió iniciar la implementación de una aplicación SIG para predecir efectos de los cambios globales en la distribución de la vegetación cubana.
Sistema de Administración de bases de datos botánicas y zoológicas	El programa ColBases sobre MS-DOS, se adaptó para la captura de información botánica, zoológica terrestre / marina y paleontología, conformándose las bases de trabajo y diccionarios. Comenzó, en colaboración con CITMATEL, la implementación del programa sobre Windows, con posibilidades de incluir datos multimedia.
Catálogo electrónico multimedia de las especies de plantas vasculares cubanas	Se desarrolló un banco de datos con información sobre plantas vasculares cubanas y su localización en el territorio nacional, mencionadas en trabajos posteriores a 1974, señalándose las fuentes y las actualizaciones de la información con las modificaciones de los cambios nomenclaturales y sinonimia. La base de datos incluye 12877 archivos tomados de 236 artículos; con referencias sobre 4899 taxa infragenéricos, pertenecientes a 1315 géneros de 191 familias de plantas vasculares cubanas. Paralelamente al desarrollo de la base de datos, se digitalizan fotos e imágenes de las especies botánicas como base para la confección de un catálogo electrónico multimedia
Clave para la identificación de los géneros de la familia Asteraceae en Cuba	Para posibilitar el acceso al tratamiento sistemático actualizado y la adopción de un criterio final con respecto a la composición de la familia Asteraceae en Cuba fué necesario construir una clave hasta el nivel de género.
Bases de datos georreferenciadas para la generación de esquemas de distribución	Se georreferenciaron localidades de colectas biológicas, contenidas en el diccionario creado al efecto, que permitió el enlace del resto de la información biológica capturada en otras bases de datos alfanuméricas y espaciales, para su inclusión y análisis mediante las herramientas de los Sistemas de Información Geográficos.

1) Relación Beneficio - Costo

La relación costo-beneficio en sentido general ha sido favorable; la inejecución del presente año se achaca a que la tabla de elementos de gastos tiene como fecha mayo del corriente, cuando el proyecto no ha concluido aún.

2) Análisis Ambiental

La pérdida de diversidad biológica se considera cada vez más uno de los problemas medioambientales críticos actuales. Las estimaciones de la tasa mundial anual de extinción de especies oscilan entre 1.000 y 10.000 veces el valor anterior a la intervención del hombre. El aspecto básico que domina todo lo relacionado con la diversidad biológica es la pérdida acelerada e irremplazable de material genético, especies, población y ecosistemas. Asociada a esta pérdida está la disminución en la obtención de productos de la naturaleza (en la actualidad y en sentido potencial), la posible interrupción de procesos y sistemas ecológicos esenciales, y la pérdida de opciones de adaptación biológica y cultural para un futuro incierto.

Existen múltiples consecuencias sociales y económicas debidas a los cambios en la diversidad biológica y el estado de las especies amenazadas. En la actualidad, los expertos calculan que el número de especies vivas sobre la Tierra se cifra entre 5 y 30 millones (Wilson, 1988), de las que sólo de 1,5 a 1,7 millones son conocidas científicamente. En el transcurso de la historia, los pueblos han utilizado para su alimentación alrededor de 7.000 clases de plantas (Myers, 1984), predominantemente trigo, cebada, centeno, avena, arroz, maíz y cerca de una docena de otras especies con alto grado de domesticación. Aún existen como mínimo 75.000 plantas comestibles, muchas de las cuales podrían ser unas fuentes de alimentación muy superiores a las plantas cultivadas de uso más extendido.

El trabajo investigativo que realiza el Instituto de Ecología y Sistemática, está enfocado al estudio de la biodiversidad terrestre cubana, que le permite ofrecer inventarios de la flora y fauna que apoyan trabajos sobre el nivel de conservación de las especies y ecosistemas, las áreas críticas, evaluaciones ecológicas, monitoreo y planeamiento ambiental.

El principal objetivo de nuestro proyecto es lograr y aportar la base científica - informática sobre la diversidad de especies, que apoye tanto al IES como a todas aquellas instituciones que realizan estudios medio ambientales, y permiten monitorear, documentar y conocer los cambios que ocurren en los diferentes ecosistemas de acuerdo con los cambios globales.

En este sentido, y a una escala modesta en comparación con el cúmulo de problemas a enfrentar, comenzó también la captura de información sobre las características ecológicas de los sitios en que se asientan las formaciones vegetales cubanas, en un intento por lograr su implementación en un Sistema de Información Geográfico, que permita la realización de pronósticos sobre el comportamiento ante cambios ambientales de dichas formaciones y las especies que comprende.

3) Impacto Social

Existen incertidumbres sobre los efectos de los cambios globales en los recursos naturales y sus consecuencias socioeconómicas.

En este sentido, nuestro proyecto está encaminado a una primera etapa de concentración de datos para proporcionar la información que se necesita para apoyar opciones a corto plazo encaminadas a disminuir y limitar los efectos del Cambio Climático; y que a largo plazo incluyen la normalización de métodos de inventario y de seguimiento de parámetros biológicos para facilitar la gestión de nuestros ecosistemas.

Es decir, haya o no cambios climáticos, muchas de las acciones que ayuden a adaptarse a los mismos serían también útiles por otras razones; es el caso de las acciones a emprender para un uso y gestión sostenibles y sensatos de los recursos, especialmente beneficiosos en la aceleración de los esfuerzos de desarrollo económico.

Por otra parte, la primera aplicación SIG desarrollada en el proyecto, nos permite una aproximación a los impactos que puedan esperarse en un conjunto de formaciones vegetales, notables algunas de ellas por lo reducido de su areal y la cantidad de endemismos que incluye.

Además, la información acumulada da respuesta a las acciones indicadas en el Plan de Acción para la implementación de dicha Estrategia, a saber: emplear las capacidades existentes en el almacenamiento, accesos e intercambios de información electrónica para asegurar el funcionamiento de la Red Nacional de Información de Diversidad Biológica, incluidas las de herbarios y colecciones zoológicas .

RIGOR CIENTÍFICO DEL TRABAJO REALIZADO

a) Materiales, métodos y procedimientos

Información botánica, zoológica y ecológica, implementada en un Sistema de Información Geográfico

Si bien para el desarrollo del componente biológico del proyecto se previó solamente el apoyo del personal de las Divisiones de Botánica y Zoología del Instituto de Ecología y Sistemática, con experiencia en temáticas relacionadas y que custodian las principales colecciones biológicas básicas, históricas y exóticas que existen en Cuba; durante la ejecución del mismo se integraron grupos de trabajo de otras instituciones con intereses similares, que brindaron su experiencia y cooperación en la estandarización de la información relativa a la diversidad biológica cubana.

Para unificar estos esfuerzos, se partió del reconocimiento de que las bases de datos taxonómicas existentes utilizan diferente software y hardware, además de diferir en la estructura de sus ficheros. El trabajo conjunto permitió promover un uso común e interpretación de la terminología, campos de datos y ficheros de referencia, que permitió dar un formato común a los datos que se introducían por Instituciones diferentes.

Para la creación de nuestras fuentes de descriptores, se ajustaron e incorporaron a ficheros de referencia patrones ya establecidos en diversos campos de la biología. Dichos descriptores deben ser prácticamente inalterables en el tiempo, con vistas a garantizar la vitalidad de nuestras bases de datos y programa. Así, se revisaron bases de datos o literatura sobre temas nomenclaturales, de colecciones biológicas, nombres comunes, usos, especies sinantrópicas, localización fitogeográfica y formaciones vegetales, entre otros. Donde no se disponía de información, como en fenología, se crearon patrones según la experiencia de las instituciones cubanas.

En los casos pertinentes, se tendió a utilizar un lenguaje corriente en los descriptores generados por los conceptos que estos trabajos contienen, para permitir el manejo del programa por personal no especializado.

La captura de información se comenzó a realizar, por tanto, no solo en el IES, sino también en instituciones no previstas en el proyecto original que han solicitado dicho servicio: MNHN, UMA Camagüey, JBN e IDO. En otras instituciones, como el CENAP, se actualizaron sus bases de datos con los diccionarios creados en este proyecto.

Lo anterior nos permitió coordinar el trabajo que realizan las diferentes Instituciones que desarrollan bases de datos automatizadas, con vistas a lograr la integración de nuestros objetivos alrededor de la Red de Bases de Datos Botánicas. Por otra parte, se están apoyando los esfuerzos que se realizan para la creación de una Red Nacional de Colecciones Zoológicas, que incluya una red automatizada a la que nuestras bases de datos pueden integrarse.

Para manejar y analizar esta información, se decidió emplear como instrumento a la vez que herramienta analítica, un Sistema de Información Geográfica (SIG), capaz de grabar, almacenar y analizar información geográfica, unida a un sistema de referencia espacial. Un SIG está diseñado para aceptar datos de una gran variedad de fuentes, ya sean mapas, fotografías aéreas, textos impresos o estadísticas; y son capaces de superponer capas con un tipo de información determinada en cada una de ellas, que pueden fusionarse en una sola y, así, utilizarse para muchos más fines que si estuvieran recogidos en bases de datos independientes.

En la obtención de los datos espaciales, se logró coordinar con el Instituto de Geografía Tropical y el Centro Nacional de Áreas Protegidas el desarrollo de un banco de mapas digitalizados, cuyo soporte fundamental fue el Proyecto “El análisis ambiental mediante un sistema de información geográfica” del Instituto de Geografía Tropical.

A dicho banco de imágenes contribuyen las tres instituciones, con vistas a evitar la duplicación de esfuerzos y al mismo tiempo acelerar el cumplimiento de los objetivos que las mismas se han trazado por separado.

En nuestra primera aproximación al manejo de esta herramienta, se comenzó un análisis simultáneo de la información proveniente de las bases de datos alfanuméricas y espaciales derivadas de los objetivos anteriores, utilizando para ello el paquete de programas MapInfo Professional versión 4.5.

El análisis busca prever el comportamiento de las formaciones vegetales de un área específica ante un aumento de la temperatura sin variaciones de precipitación, suelo y altitud.

Previamente, se realizó una exhaustiva revisión bibliográfica para conocer el enfoque y clasificación de las formaciones vegetales de los diferentes autores que las han descrito, lo que permitió conformar una clasificación que resume y aporta a las que anteriormente han sido publicadas por dichos autores.

Sistema de Administración de bases de datos botánicas y zoológicas

Durante la captura y tamizaje de información es posible que ocurran errores humanos. Este hecho nos motivó a implementar un software, que no sólo cumpla con las necesidades y posibilidades de las instituciones cubanas

interesadas en el manejo automatizado de la información biológica contenida en las colecciones que poseen, sino también advierta al usuario de errores y actualice la información a medida que se introduce, mediante la actualización nomenclatural y taxonómica de las especies.

Una vez diseñado sobre MSDOS, y para culminar este objetivo, se comenzó la programación sobre ambiente WINDOWS, para adicionar todas las posibilidades de desarrollo implícitas en las modernas técnicas de programación. Estos tipos de aplicaciones permiten contar con una serie de módulos elaborados y comprobados de antemano que aceleran el proceso de desarrollo, construcción y fiabilidad de sistemas de programación; además de modelar la organización de los datos que serán consultados en una base de datos.

Su funcionamiento garantiza la creación, edición y ejecución de consultas a las bases de datos, facilitadas por las ventajas de los sistemas operativos en ambiente gráfico de crear interfaces amistosas e interactivas con el usuario que no requieran de mucho adiestramiento en su manipulación. A fin de utilizar estas ventajas se elaboraron una serie de ventanas que permitieran al usuario interactuar con el software en forma sencilla, que en sistemas de base de datos como FoxPlus, Dbase III y IV se dificultan al ser necesario conocer un conjunto de comandos y acciones para mostrar el resultado de un análisis.

Catálogo electrónico multimedia de las especies de plantas vasculares cubanas

En el Departamento de Plantas Vasculares del IES comenzó una compilación de artículos editados a partir de la década del setenta, con el fin de lograr una actualización nomenclatural y taxonómica de las especies de plantas vasculares cubanas.

La información bibliográfica se captura en una base de datos cuya estructura responde a los campos: título, autores, volumen, número y año de publicación; la que se interrelaciona con otras que acumulan información sistemática, ecológica, de sinonimia y distribución, entre otras, de las especies mencionadas en la bibliografía revisada. Para la compilación, estandarización y procesamiento de la información se empleó el programa **ColBases** (Cejas, 1992).

Paralelamente al desarrollo de la base de datos, se comenzó la búsqueda de fotos y descripciones de las especies botánicas con vistas a la confección de un catálogo electrónico multimedia.

Clave para la identificación de los géneros de la familia Asteraceae en Cuba

Para posibilitar el acceso al tratamiento sistemático más actualizado y la adopción de un criterio con respecto a la composición de la familia Asteraceae, una de las mejor representadas dentro de la flora cubana, se construyó una clave hasta el nivel de género para nuestro país.

Bases de datos georreferenciadas para la generación de esquemas de distribución

Otra tarea a desarrollar fue la georreferenciación de las localidades cubanas de colecta de especies biológicas, previendo la creación de herramientas que posibiliten la generación de esquemas de distribución de los grupos biológicos y de otros mapas temáticos, como zonas con mayor número de endemismos, estimados de riqueza y abundancia, entre otros.

Para ello, y gracias al auge que han tenido en los últimos años diversos programas especializados en la conformación de Sistemas de Información Geográficos, se insertó nuestra información en el paquete de programas MapInfo Professional versión 4.5, en el que se utilizó la capa de línea de costa del archipiélago cubano digitalizado y georreferenciado a escala 1:1000 000.

b) Descripción, análisis y discusión del resultado obtenido

Información botánica, zoológica y ecológica, implementada en un Sistema de Información Geográfico

El examen de los impactos medioambientales del cambio climático sobre los ecosistemas terrestres naturales y las consecuencias socioeconómicas asociadas está aún en sus comienzos. La mayoría de los estudios realizados se limitan sólo a regiones y sectores específicos con la limitación adicional de que en estos estudios se han adoptado enfoques restringidos del problema y no se han abordado desde un punto de vista interdisciplinario. Además, la mayoría de ellos han estudiado los efectos del cambio climático sobre los sistemas medio ambientales, económicos y sociales actuales, y no han considerado ajustes, impactos y consecuencias durante los periodos de transición de los ecosistemas.

Cerca de 6.000 especies animales se consideran amenazadas de extinción por la disminución del número de individuos que las forman, la destrucción de sus hábitats a consecuencia de la sobreexplotación o porque, sencillamente, se ha limitado mucho su área de distribución. Aunque es un número considerable, el estado de conservación de la mayor parte de las especies sigue sin evaluar. Se han estudiado aproximadamente 9.700 especies de aves que hay en el mundo, cerca de la mitad de los 4.630 mamíferos y proporciones pequeñas de otros vertebrados y un número relativamente reducido de las más de 250.000 especies de plantas superiores y, aunque se dispone de cierta información sobre mariposas, libélulas y moluscos, en términos reales no se ha evaluado ni una sola de los muchos millones de especies de invertebrados que viven en la Tierra.

Es necesario hacer frente a estas limitaciones para ofrecer respuestas más realistas con respecto a los posibles impactos y, por tanto, permitir el desarrollo de estrategias de respuesta viables y eficaces. Ello puede lograrse por diferentes medios, entre los que se incluyen:

- Compilación de inventarios relevantes de las especies y ecosistemas a escala regional e internacional.
- Establecimiento de una línea base coherente con objeto de alcanzar un consenso sobre los recursos en peligro, en nuestro caso particular los biológicos.
- Ejecución de programas integrados de seguimiento que incluyan parámetros biológicos, físicos y meteorológicos a escala regional, nacional y global.
- Seguimiento de las especies y los ecosistemas más sensibles, dado que podrían suministrar los primeros indicios sobre el impacto del cambio climático. También han de considerarse prioritarios los ecosistemas y especies que tienen un importante interés social y/o económico.
- Mayor información acerca de las sensibilidades de las especies y de los ecosistemas respecto al clima y al cambio climático, en particular para aquellas especies de las que se dispone de escasa información.
- Evaluaciones experimentales de las correlaciones entre el clima y las especies animales y vegetales, para establecer las relaciones causales y los impactos relativos de los cambios en el clima con respecto a otros factores de control.
- Obtener información sobre el efecto combinado de los impactos directos e indirectos sobre las especies y los ecosistemas.

A corto plazo, es necesario satisfacer las necesidades críticas de los ecosistemas terrestres naturales amenazados por los impactos más perjudiciales. La sociedad debe prepararse para intervenir en los ecosistemas o especies que se consideren vitales y estén amenazados, dando prioridad al estudio de las diversas opciones de respuesta, y de sus incertidumbres y riesgos. Especial atención debe prestarse a la reducción de los principales factores de estrés debidos a la acción del hombre, como la tala forestal y las actividades contaminantes. Es frecuente que, una vez reducidos estos factores de estrés, que pueden tener su origen fuera de los límites del ecosistema, aumente la elasticidad del ecosistema afectado, con lo que disminuirían posiblemente los impactos del cambio climático.

Todas estas posibles soluciones han de basarse en una información amplia y fiable para que resulten constructivas y no destructivas.

1. *Actualización y desarrollo de BD alfanuméricas y espaciales botánicas y zoológicas*

Los resultados del estudio del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), ponen de relieve nuestra escasez de conocimientos, en particular a escala regional y en las áreas más vulnerables al cambio climático. Es necesario llevar a cabo nuevas investigaciones nacionales e internacionales, entre las que sugieren analizar los factores que influyen sobre la distribución de las especies y su sensibilidad ante el cambio climático, así como el inicio y mantenimiento de sistemas de seguimiento integrado para los ecosistemas marinos y terrestres, sumado a predicciones regionales de los cambios en la humedad del suelo, las precipitaciones, los regímenes de

eskorrentía, tanto superficial como subterránea, y sus distribuciones interanuales como consecuencia del cambio climático.

Consciente de las incertidumbres que existen con respecto al uso y la gestión de recursos, el IPCC ofrece un abanico de opciones más que de recomendaciones concretas, en la búsqueda de una ampliación de nuestra base de conocimientos para realizar juicios razonados sobre las estrategias de respuesta referidas al cambio del clima, y que deben abordarse antes que las previsiones exactas de los impactos del cambio del clima.

Adicionalmente, se desconoce el número exacto de especies que pueblan la Tierra. Las estimaciones oscilan entre 5 y casi 100 millones de especies, y se ha propuesto un valor de aproximadamente 12,5 millones como estimación conservadora útil. Hasta la fecha se han descrito cerca de 1,7 millones de especies.

El Estudio Nacional de Biodiversidad identificó entre las esferas prioritarias para la elaboración de la Estrategia Nacional de Diversidad biológica el mantener e incrementar la captura de la información existente, que permita un nivel superior en el conocimiento de la biodiversidad, brindando así a los tomadores de decisiones una información más útil, eficiente y actualizada.

En este sentido, este proyecto busca responder algunos de los planteamientos realizados en el Plan de Acción para la implementación de dicha Estrategia, a saber: emplear las capacidades existentes en el almacenamiento, accesos e intercambios de información electrónica para asegurar el funcionamiento de la Red Nacional de Información de Diversidad Biológica, incluidas las de herbarios y colecciones zoológicas .

Con vistas a lograr estos resultados, se desarrollaron dos líneas muy vinculadas:

La primera consistió en la creación y actualización de ficheros de referencia taxonómicos, hasta un total de 44960 y 20130 registros botánicos y zoológicos respectivamente, que permiten la estandarización de toda la información biológica que se captura a través del programa **ColBases** (Tabla 1).

Numerosas han sido las bases de datos o listas electrónicas, pertenecientes a disímiles organismos, a las que se les ha revisado la información que portan. En este sentido, rebasamos ampliamente el objetivo trazado de lograr solamente el tamizaje de la información existente en las bases de datos curatoriales del Instituto de Ecología y Sistemática, pues hemos llegado a convertirnos en centro de consulta para aquellos interesados en la actualización de sus datos. Por ello, **ColBases** y sus ficheros de referencia fueron protegidos en el Centro Nacional de Derecho de Autor, el que emitió el Certificado de Depósito Legal Facultativo de Obras Protegidas con el número de registro 06645-6645

La participación de otras instituciones, interesadas en nuestros resultados, motivaron durante los años que duró este proyecto la generalización e incremento de los ficheros de referencia antes mencionados, particularmente los zoológicos (Fig. 1), algunos de ellos basados en bases de datos desarrolladas bajo diferentes formatos.

Por sólo dar algunos ejemplos, centros claves en determinados ministerios, como el Jardín Botánico Nacional (MES), el Instituto Nacional de Ciencias Agropecuarias (MINAGRI), el Museo Nacional de Historia Natural (CITMA), y la representación de GEOCUBA en Camagüey, han solicitado nuestros servicios.

Paralelamente se crearon otros ficheros de referencia, con información sobre nombres comunes, localidades, etc. (Tabla 2).

La segunda línea fue desarrollar e incrementar la captura de información biológica alfanumérica y espacial, a partir de patrones similares para las instituciones que se involucrasen en el proyecto. El establecimiento de patrones en cuanto a la definición de los datos es muy importante para los programas que se destinen al manejo de la información que se genere (Pankhurst, 1999).

Dicha información se compiló fundamentalmente de nuestras colecciones biológicas y de la literatura disponible debido a que se considera que está disponible una considerable tasa de diversidad ex-situ: sólo en botánica, las colecciones biológicas y jardines contienen cerca del 33 % de todas las especies descritas y el 85 % de las familias de plantas vasculares (Barthlott *et al.*, 1999). Ya desde 1996, Barthlott *et al.* (1996) publicaron el primer "Mapa Mundial de cantidad de especies de plantas vasculares", basado en aproximadamente 1,400 registros tomados de la literatura.

En nuestro caso, se comenzó por las colecciones botánicas y zoológicas terrestres del Instituto de Ecología y Sistemática,. Posteriormente, a solicitud del Instituto de Oceanología y del Museo Nacional de Historia Natural, se incluyeron otros grupos zoológicos terrestres y/o marinos, además de datos paleontológicos. En resumen, se cuenta con información sobre plantas vasculares, ácaros, anfibios, arácnidos, ascidias, aves, celenterados, céstodos, ciempies, crustáceos, equinodermos, gasterópodos, holoturias, insectos, mamíferos, milpies, nemátodos, ofiuros, peces, poliquetos, poríferos, reptiles y tremátodos.

Nuestro trabajo de automatización ha permitido que, sólo entre las principales colecciones biológicas cubanas, acumulemos 98049 y 60837 registros botánicos y zoológicos respectivamente, para un total de 158886 registros. (Tabla 3).

El banco de mapas digitalizados, creado en coordinación con el Instituto de Geografía Tropical y el Centro Nacional de Áreas Protegidas, dispone actualmente de más de 30 temas de corte físico-geográfico y socio-económico de interés para análisis ambientales (Tabla 4), a los que se adicionan las bases de datos alfanuméricas antes mencionadas.

2. Coordinar Redes Nacionales de Colecciones Biológicas

Durante el IV Encuentro de Botánica “Johannes Bisse in Memoriam”, se tomó entre los acuerdos destinados a la creación de la Red Nacional de Herbario, el que los miembros de la naciente red utilizaran **ColBases**, lo que llevó a su empleo tanto por el Instituto de Ecología y Sistemática, como por diversas instituciones y proyectos no previstas en el proyecto original, entre los que se cuentan: “Formación, Conservación y Manejo de Colecciones de Historia Natural”, del Museo Nacional de Historia Natural, Instituto de Ecología y Sistemática e Instituto de Oceanología; “Localidades poco estudiadas de Cuchillas de Baracoa”, del Centro Nacional de Áreas Protegidas y “Estudio diagnóstico de la flora y fauna de los hábitats de montaña del este de Cuba”, de la Empresa Nacional de Flora y Fauna, entre otros.

También han mostrado interés la estación de Topes de Collantes (Sancti Spiritus), el Parque Zoológico Nacional (Ciudad Habana), el Instituto de Investigaciones Avícolas (Ciudad Habana), el Jardín Botánico de Sancti Spiritus, el Instituto Superior Pedagógico de Pinar del Río, la Estación Experimental de Pastos y Forrajes (Matanzas), el Instituto Superior Pedagógico “Felix Varela” (Villa Clara) y BIOECO (Santiago de Cuba).

En Botánica, el HAC se considera el centro de la Red de Bases de Datos Botánicos, que interactúa con bases de datos de otras instituciones, nodos de un sistema de información biológica.

En Zoología, todavía sin una red nacional de colecciones, se siguen creando los diccionarios y bases de datos, además de comenzar los primeros pasos para nuclear una red de información, para lo que paralelamente se está realizando un inventario de todas las colecciones zoológicas existentes en el país..

3. Implementación y carga del SIG

Se consideran cambios del clima aquellos que resultan del incremento en las concentraciones de los gases de efecto invernadero (GEI), aceptándose tácitamente que existen limitaciones respecto al conocimiento actual sobre el cambio climático global y las respuestas probables de los ecosistemas y de sus componentes. Por ello, las investigaciones actuales se dirigen a los componentes principales y más sensibles de los ecosistemas terrestres naturales tales como: diversidad biológica y especies amenazadas, vegetación y bosques no gestionados, zonas húmedas, vida silvestre y entornos naturales y reservas.

La diversidad biológica juega un papel cada vez mayor en la investigación y discusiones públicas. Su protección y uso sostenible requiere del conocimiento de su distribución geográfica. Sin embargo, a pesar de la gran cantidad de datos biológicos acumulados, sólo se han llevado a cabo relativamente pocos levantamientos a escala continental y global (Barthlott, 1999).

Entre las opciones del IPCC para el uso y la gestión de recursos, aparece el mejorar nuestro conocimiento científico y los instrumentos metodológicos para predecir los cambios en los factores climáticos críticos y sus impactos sobre los recursos naturales.

En este sentido, los Sistemas de Información Geográficos permiten explorar modelos geográficos en medidas cuantitativas de diversidad, rareza y prioridades de conservación, a cualquier escala espacial, para grandes cantidades de datos biológicos, de forma rápida e interactiva a través de interfaces gráficas (TNHM, 1999).

En nuestro caso, es necesario ajustar los límites de las zonas de diversidad mediante la superposición con mapas de vegetación y juegos de datos sobre geofactores físicos (Barthlott, 1999). Debe tenerse en cuenta, que la biodiversidad de una región, aparte de los factores históricos, es también un resultado de la diversidad de los factores abióticos (Barthlott *et al.*, 1996).

Clasificación de los tipos y características de las formaciones vegetales en Cuba

Varios autores han expresado sus criterios sobre las formaciones vegetales existentes en Cuba, basándose indistintamente en criterios geográficos, geológicos, climáticos, ecológicos y/o fisonómicos, como ocurre en el caso de los bosques siempreverde o semideciduo (Tabla 5). Al comparar sus clasificaciones, éstas pueden coincidir en los nombres asignados a formaciones vegetales diferentes en su descripción, o por el contrario, asignar nombres diferentes a formaciones vegetales similares.

Semejante situación dificulta conocer y emplear en los análisis de nuestro proyecto, y en cualquier otro trabajo, las características de las formaciones vegetales cubanas contenidas en dichas clasificaciones, por lo que se hizo necesaria la confección de una que las homogeneizara (Anexo 1).

Modelación cartográfica del SIG

El conocimiento de la historia natural de las especies, en particular el referente a su distribución climática, resulta a menudo insuficiente para obtener una predicción precisa de un cambio en la zona geográfica de distribución como respuesta a los cambios del clima. En virtud de la complejidad de los factores determinantes, las respuestas de las especies y sus ecosistemas no serán sencillas, por lo general, sino que oscilarán entre dispersiones uniformes y progresivas y esfuerzos repentinos caracterizados por grandes avances (Mooney y Drake, 1989).

Un obstáculo fundamental para el desarrollo y el análisis de las opciones de medidas de planificación adaptativas en el uso de los recursos es la considerable incertidumbre asociada a cada eslabón de la cadena de cálculos necesarios para llevar a cabo dichos análisis. En primer lugar, sencillamente no se dispone de estimaciones regionales fiables de los cambios en los factores climáticos críticos (por ejemplo, temperatura, humedad del suelo, variaciones diarias, anuales y estacionales, frecuencias y magnitudes de acontecimientos extremos tales como sequías, inundaciones y tormentas). En segundo lugar, muchos procesos que relacionan el cambio climático, las concentraciones de gases de efecto invernadero, la biosfera y otros recursos naturales, no están bien establecidos ni caracterizados.

De acuerdo al IPCC, en la investigación a corto plazo, algunas acciones aumentarían nuestra base de conocimientos para formular juicios razonables acerca de las estrategias de respuesta. Entre éstas figuran:

- Establecimiento de inventarios, de bases de datos, de sistemas de vigilancia y de catálogos sobre el estado actual de los recursos, así como de las prácticas en materia de utilización y gestión de los recursos
- Mejora de nuestra comprensión científica de los factores climáticos críticos, así como de nuestros instrumentos de predicción de esos factores, sus efectos en los recursos naturales y sus consecuencias socioeconómicas.

Para ejemplificar cómo pueden utilizarse los datos alfanuméricos y espaciales compilados hasta el momento por el proyecto, se decidió implementar una aplicación sobre MapInfo Professional versión 4.5, que mostrase cuál sería el comportamiento de algunas formaciones vegetales cubanas ante un cambio en la temperatura; sin olvidar que los cambios de temperatura serán importantes también para los animales e insectos. La temperatura media, por ejemplo, influye en la proporción existente entre hembras y machos en algunos reptiles; mientras que los cambios en las temperaturas extremas, pueden afectar notablemente a la dinámica y la distribución de los animales y, en particular, de los insectos (Waller *et al.*, 1989).

Este ejemplo sería sólo una primera aproximación al problema, pues como es claro, el estrés ecológico no se producirá sólo por cambios de temperatura; incluso es incierto el sentido del cambio para algunos de los factores críticos restantes. Se esperan cambios en las características a escala global de las precipitaciones (Hansen *et al.*, 1981; Kellogg y Schware, 1981; Schlesinger y Mitchell, 1987) y, para numerosas especies, las precipitaciones y la humedad del suelo constituyen factores más importantes para la supervivencia que la temperatura. A excepción del límite de vegetación arbórea, donde la temperatura mínima representa el factor limitante dominante, las precipitaciones desempeñan un papel principal en la determinación de la distribución vegetal: los árboles se desarrollan sobre todo en lugares con valores anuales situados por encima de los 300 mm (Woodward, 1990).

Las proyecciones en cuanto a la variación de la temperatura son bastantes uniformes para todos los modelos y escenarios (alrededor de los 2°C hasta 4°C para el año 2100), aunque la velocidad y magnitud del cambio de temperatura es incierta. Para nuestro análisis tomamos una media de 3°C y como horizonte temporal el año 2100, pues se consideró que el período que va entre el momento actual y ese año se corresponde mejor con la velocidad **en que pueden modificarse los ecosistemas ??**.

Esta suposición partió de la información obtenida del análisis del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 1992).

Como área de estudio se escogió, en las provincias orientales, aquellas zonas donde la precipitación está en el rango de 1800 a 2600 mm, temperatura de menos de 16 a 24 °C, suelos pardos, ferralíticos y fersialíticos y un relieve de más de 800 m snm, ubicadas hacia el Macizo del Turquino y Sierra de Cristal.

En ausencia de observaciones a largo plazo de la respuesta de los ecosistemas, los científicos han de manejar medios muy imperfectos de evaluación, en especial de las influencias secundarias y combinadas de varios factores de estrés (como el clima, los incendios y la contaminación del aire) en los componentes de interacción de los ecosistemas (vegetación, fauna, plagas y elementos patógenos, nutrientes del suelo, calidad del agua y el aire).

Entre las fuentes empleadas para establecer inferencias acerca de los impactos de la modificación del clima sobre los ecosistemas terrestres naturales, se encuentra el análisis de las distribuciones bioclimáticas actuales de los tipos de vegetación y sus posibles distribuciones futuras al cambiar el patrón del clima (planteamiento de la función de transferencia directa). Como los otros métodos de inferencia de impactos, éste presenta sus puntos fuertes y débiles.

En este sentido, nuestro objetivo es conocer que comportamiento presentarían las formaciones vegetales del área de estudio de ocurrir un aumento de la temperatura de 3 °C y mantener las mismas condiciones de precipitación. Lógicamente, no se esperan alteraciones bruscas en el suelo y la altitud.

Para desarrollar esta tarea, nos fijamos primeramente este **PROBLEMA**:

Si, producto de los cambios globales que se pronostican, ocurre un aumento de la temperatura media anual de 3 °C; qué vegetación entraría en conflicto en la región oriental de Cuba, en áreas de interés con las siguientes características:

- Temperatura media anual actual menor de 24 °C
- Precipitación media anual actual entre 1600 y 2400 mm
- Suelos actuales ferralíticos, fersialíticos y pardos
- Alturas mayores de 800 m

La modelación cartográfica para la solución del problema planteado se representa en el diagrama de flujo mostrado en la Fig. 2.

Para el desarrollo de la tarea se cuenta con banco de mapas digitalizados a escala 1:1000 000 para Cuba, que dispone actualmente de más de 30 temas de corte físico-geográfico y socio-económico de interés para análisis ambientales. De esta base se toman las capas: DPA_MUNI, TEMPERATURA, PRECIPITA, SUELOS, RANGOS_RELIEVE y VEGETA, como capas de partida, cuya descripción y la de sus campos de atributos asociados se muestra en las Tablas 6 y 7.

La capa DPA_MUNI es reclasificada usando el campo “Nombre_Provincia” y seleccionando las cuatro provincias que aparecen en la región de interés: Holguín, Granma, Santiago de Cuba y Guantánamo. De esta manera se obtiene una nueva capa llamada ORIENTE, que contiene solo el área compacta de la región oriental objeto del análisis.

Las restantes capas base se superponen una a una con la capa ORIENTE, de forma que quedamos con nuevas capas de temperatura, precipitación, suelos y altitud sólo para la región oriental (TEMPERAT_O, PRECIPIT_O, SUELOS_O, RELIEVE_O).

Cada una de ellas es reclasificada con las condiciones que se plantean en el problema. Así, TEMPERAT_O es convertida en TEMPERAT_OR, una nueva capa con las áreas de la región oriental donde la temperatura actual es menor de 24 °C. Las restantes capas, reclasifican de manera análoga, se nombran PRECIPIT_OR, SUELOS_OR y RELIEVE_OR.

Para el caso de la temperatura, se crea una nueva capa TEMPERAT_OR+3, con un campo “Temperatura+3”, que contiene los valores de temperatura para cada área a los que se suma 3, lo que expresa la variación sufrida debido a la elevación de 3 °C en la temperatura media anual.

Se pueden obtener entonces dos capas nuevas que resultan de la integración de las restricciones para cada uno de los temas concebidos. La primera capa, TPSR, tomando en cuenta la temperatura con su comportamiento actual, es producto de la superposición de TEMPERAT_OR, PRECIPIT_OR, SUELOS_OR y RELIEVE_OR. La segunda capa, nombrada TPSR+3, involucra la temperatura con el cambio previsto, y se obtiene de la superposición de TEMPERAT_OR+3, PRECIPIT_OR, SUELOS_OR y RELIEVE_OR.

TPSR y TPSR+3 se superponen a la capa base de vegetación (VEGETA) para determinar las formaciones vegetales que aparecen en las áreas restringidas, producto de las operaciones anteriores. De esta forma se crea VEGETACION_TPSR, que registra las áreas restringidas (Fig. 3), contando con el comportamiento actual de la temperatura y VEGETACION_TPSR+3 (Fig. 4), que registra las áreas restringidas, contando con la variación en 3 °C de la temperatura.

Empleando una superposición de estas dos últimas capas puede crearse una nueva, resultante de la diferencia experimentada producto de la variación de la temperatura. Esta capa (VEGETACION_AREAS-CONFLICTO) nos indica qué vegetación entra en conflicto en esta superposición y permite determinar las diferencias que puedan sufrir las áreas producto de los cambios introducidos (Tabla 8).

Es aquí donde interviene la experiencia científico-práctica del investigador, quien reclasifica las áreas de conflicto en dependencia de las variaciones que pudieran experimentar las formaciones vegetales en su adaptación, propagación o rechazo a estas áreas (POSIBLE SOLUCION A VEGETACION_AREAS-CONFLICTO).

Interpretación biológica de los resultados del SIG

Muchos animales, como los anfibios, tienen la capacidad de reaccionar con rapidez a los cambios medioambientales; sin embargo, las respuestas de las comunidades asociadas de plantas pueden ser relativamente lentas, lo que da lugar a pérdida y fragmentaciones del hábitat (Peters y Janetos, 1992; Arnold, 1988), y a una intensificación de los problemas de pérdida de hábitat existentes. Si la capacidad intrínseca de colonización de una especie es baja, o existen barreras a la dispersión, puede llegarse a la extinción de los hábitats actuales al convertirse en inadecuados.

La respuesta de los ecosistemas forestales depende de un gran número de parámetros (por ejemplo, la temperatura, precipitación y climas extremos). Dicha respuesta podría dar lugar a variaciones en la distribución y composición de especies de las comunidades forestales, así como alteraciones críticas en el desarrollo y cambios en la biodiversidad y en la diversidad genética de determinadas especies.

Ciertos tipos de vegetación serán capaces de adaptarse a los cambios mejor que otros, en función, entre otros factores, de la intensidad del factor climático como factor de control con respecto a otros factores de control; del estado relativo de cada tipo de vegetación en la secuencia dinámica local de su estabilidad y resistencia intrínsecas, y del impacto de las actividades y las intervenciones humanas. La capacidad de las especies para desplazarse en respuesta a un cambio climático depende de su aptitud para dispersarse (capacidad reproductora, dispersión de semillas, disponibilidad de pasillos migratorios y movilidad), la movilidad de sus especies acompañantes (agentes polinizadores), la frecuencia de agentes perturbadores (p.ej., fuego) y la disponibilidad de un hábitat adecuado.

Si bien los impactos específicos del calentamiento global sobre una determinada región o especie son aún objeto de controversias, en nuestro caso, en el que nos hemos basado mayormente en la variable temperatura, pueden establecerse algunas conclusiones generales, a partir de la interpretación del resultado del SIG:

El bosque pluvial submontano bajo, típico de las Sierras Cristal, Moa y Nipe, se establece bajo condiciones ecológicas muy húmedas, sobre suelo muy friable, que facilita la percolación del agua y se produce un escurrimiento subsuperficial. Más datos de esta formación vegetal y las que se tratan más adelante se brindan en el capítulo “Clasificación de los tipos y características de las formaciones vegetales en Cuba”.

Un aumento de temperatura, y el consiguiente incremento de la evaporación del aire, incidiría en la descomposición acelerada del sustrato orgánico del suelo y el aumento de la erosión, con la consiguiente acentuación de los caracteres del suelo antes mencionados, lo que de acuerdo a Solomon (1986), puede acarrear la desaparición de algunas áreas y la obstaculización a la migración de las especies tropicales.

Lo anterior pudiera provocar, en el área estudiada, cambios en la composición florística hacia las zonas más elevadas de este tipo de formación vegetal, sobre todo hacia el noroeste de Oriente, con un decrecimiento de las especies que precisan menores rangos de temperatura. Como dichos bosques se desarrollan en los distritos fitogeográficos “Sierra de Nipe” y “Sierra de Cristal” (Samek, 1973); nuestro planteamiento se corresponde con los criterios de A. López (com.pers.) y Rodríguez *et al.* (1998), quien incluyen estos distritos entre los afectados en el 2100 por el Cambio Climático y dentro de las Zonas Ecológicamente Sensibles (ZES) de Cuba respectivamente.

El calentamiento previsto y los cambios asociados podrían no sólo ser superiores a las fluctuaciones naturales recientes, sino que se produciría a un ritmo entre 15 y 40 veces más rápido que el de los cambios naturales del pasado (Schneider, 1989; Gleick *et al.*, 1990). Semejante ritmo de cambio puede superar la capacidad de muchas especies para adaptarse o emigrar hacia regiones más favorables, con lo que numerosas especies animales y tipos vegetales pueden verse abocados a la extinción (Lester y Myers, 1989; Pain, 1988b). En especies abundantes y muy extendidas, ni siquiera un retroceso importante en su zona de distribución constituiría una amenaza de extinción (Miller *et al.*, 1987); sin embargo, especies locales poco comunes cuyas zonas de distribución pueden convertirse en inadecuadas, se extinguirían a menos que se produjera una migración o una oportuna intervención del hombre. Por otra parte algunas especies escasas o abundantes, pueden desarrollarse bajo un nuevo régimen climático. Incluso en especies ampliamente extendidas, son probables pérdidas de primer orden en sus ecotipos y en el material genético asociado (Davis y Zabinski, 1990).

Por su parte, el bosque pluvial montano alto tiende en nuestro análisis a ocupar áreas de otras formaciones que comienzan a mostrar los rangos de temperatura en que este bosque se establece, de 16 a 23 °C. Por ejemplo, en el Macizo del Turquino, pasa a ocupar parte de las zonas ocupadas por el bosque nublado, del que incluye especies típicas bajo las condiciones actuales.

El bosque nublado típico, se ubica en alturas por encima de 900 a 1900 m snm (Capote y Berazaín, 1984, 1989; Borhidi, 1987, 1991, 1996), donde se cumplen las condiciones ecológicas que sustentan sus características, a saber: precipitaciones de 1800 a 2200 mm, temperaturas menores a 16 °C y suelo fersialítico.

Cuando el clima se vuelva más cálido, las especies del bosque nublado en el Macizo del Turquino tenderán a desplazarse hacia elevaciones superiores. Con ello sufrirán una restricción del areal de distribución inversamente proporcional a la altitud, lo que incidirá en una mayor vulnerabilidad a las presiones genéticas y medio ambientales (Korner, 1989; Murphy y Weiss, 1990). Especies como *Weinmania pinnata*, *Torralsia cuneifolia* y *Garrya fadyenii*, que podemos encontrarla también en las pluvisilvas y en algunos matorrales superarán las tolerancias fisiológicas extremas, mientras otras especies originalmente situadas cerca de las cimas, así como algunas lianas y epífitas, no encontrarán hacia donde desplazarse, y podrán ser sustituidas por las especies relativamente termófilas que se mueven desde zonas inferiores.

En nuestro análisis, este ecosistema es el más vulnerable para la región en estudio, donde un desplazamiento vertical de 200 m (con un incremento en la temperatura de hasta 2 °C) sería suficiente para reducir drásticamente su extensión y dar lugar incluso a extinciones locales.

La pérdida de especies, en particular de las previamente identificadas como sensibles, reducirá la diversidad biológica. La pérdida de especies clave, como los productores primarios que desempeñan un papel básico en el mantenimiento de otras especies, puede desencadenar un efecto dominó que dará lugar a posteriores extinciones y tal vez a la desaparición de un ecosistema. Los problemas de la alteración de la diversidad biológica son particularmente graves en los espacios naturales y las reservas, dado que los tiempos de extinción media dependen del logaritmo del tamaño inicial de la población (Shaffer en Soule, 1987).

Dentro del área en estudio, el subpáramo (monte fresco) se localiza en áreas expuestas a la acción del viento y con baja pluviosidad, en la zona condensada de nubes del macizo del Turquino. Como las especies pueden desplazarse tanto en latitud como en altitud, y similar al caso anterior, con un aumento de temperatura las especies tenderán a "perseguir" su entorno climático óptimo, restringiendo sus áreas de distribución en los lugares en los que las condiciones se convierten en inadecuadas, que posiblemente pasen a ser ocupadas por especies típicas de pluvisilva, para las que dichas condiciones mejoran (Peters y Darling, 1985; Ford, 1982).

Con los Cambios Climáticos, el complejo de vegetación de mogote debe mantener su estructura. Establecido bajo condiciones extremas, en cimas y zonas muy áridas expuestas al sol, un aumento en la temperatura no cambiaría necesariamente las necesidades fisiológicas de sus especies en estas áreas; mientras que las especies de pluvisilva localizadas en las laderas con sombras y hoyos se mantendrían dentro de sus rangos de tolerancia.

El análisis realizado por el Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL, versión 1980), mostró que el área global de bosques podría disminuir en un 6% y los pastos aumentarán en un 25%.

Partiendo de lo anterior, el bosque semidecíduo mesófilo con humedad fluctuante, podría tender a una sabanización, pero no de forma tan brusca como la señalada y ocurriendo sobre todo en aquellos lugares colindantes con parches de vegetación secundaria, con predominio de especies heliófilas invasoras, lo que podría llevar a que las zonas sabanasas o de vegetación secundaria mantengan o aumenten sus áreas.

Además de las plantas herbáceas, existe otra categoría exótica susceptible de extenderse: los arbustos simbióticos fijadores de nitrógeno, dotados de una mayor capacidad para colonizar terrenos relativamente descubiertos y detener la sucesión posterior durante algunas décadas (Vitousek, 1986).

En nuestro análisis no pretendimos analizar a esta categoría de plantas, a pesar de que los efectos favorables sobre las especies exóticas anuales, que han demostrado mayor capacidad para prosperar en entornos alterados (Orians, 1986), se reforzarán aún más por: (a) la mayor mortalidad de las especies nativas, lo que creará espacios para la colonización de plantas anuales fotófilas; y (b) la ausencia relativa de herbívoros nativos, que constituye una ventaja para las especies exóticas (Vitousek, 1986).

Como puede verse, aunque las especies individuales tienden a desplazarse en una misma dirección general, este desplazamiento ocurre a velocidades diferentes en respuesta al cambio climático, por lo que las comunidades biológicas completas no se mueven de forma sincronizada sino que, por el contrario, se disocian con frecuencia entre sus especies componentes.

Junto con el complejo de vegetación de mogote, el bosque siempreverde mesófilo submontano está entre las formaciones vegetales que menos variación presentará con los Cambios Globales.

Es posible que los bosques puedan adaptarse a una velocidad de cambio de la temperatura de alrededor de 1 °C en 100 años. Sin embargo, los cambios más rápidos previstos tendrán probablemente efectos nocivos, especialmente al combinarse con factores adicionales de estrés.

Otra formación presente en el área es el bosques de pinos, tanto en el Macizo del Turquino como hacia el noreste de la región oriental. El primero, con predominancia de *Pinus maestrensis*, que según Borhidi es un pinar transitorio, temporal, que de acuerdo a nuestro análisis no va a sufrir grandes variaciones bajo la situación en estudio.

El segundo, que Borhidi (1991) menciona como un "bosque de pinos enanos de *Pinus cubensis*", aparece localizado hacia las cimas de algunas alturas principales del noreste oriental (CESIGMA, 1997), se distingue por la menor altura de sus componentes y se asienta en regiones extremadamente húmedas.

Aunque en el mapa de vegetación 1 : 1000 000 esta área aparece reflejado como Bosque de Pinos con predominancia de *Pinus cubensis*, en realidad esta especie se ve sustituida por este llamado "pino enano" mencionado anteriormente, que por los vientos predominantes se achaparra y como emergente sólo alcanza los 2.5 m, en esta formación que es nombrada como "Matorral montano bajo con elementos de pinar" en el Anexo 1.

Dicha formación también sufriría una restricción del areal como consecuencia del aumento de la temperatura y de la desecación asociada. Sus especies podrían desaparecer como consecuencia del incremento de las tensiones, lo que daría lugar a una reducción de la diversidad biológica global y comenzarían a ser sustituidas por especies del bosque siempreverde mesófilo submontano y del bosque pluvial submontano bajo. Dichas tensiones pudieran ser aumentadas con alteraciones tales como brotes de plagas e incendios, y ello favorecer un incremento de los cambios previstos.

El alto endemismo de esta formación, característico de nuestra flora y fauna en general, trae como consecuencia que muchos de sus componentes estén actualmente considerados bajo alguna categoría de amenaza. La morfología de las especies en las zonas húmedas es una demostración de su escasa capacidad de competencia, y por ello los cambios climáticos, incluso aquellos que tiendan hacia condiciones más soportables, pueden colocar a algunas de ellas en situaciones de clara desventaja comparativa, sobre todo en aquellas, como las especies de *Pinus*, para los que Cuba constituye su límite sur.

Existen evidencias de casos en los que se ha producido una extinción completa o local debida a que las especies fueron incapaces de dispersarse con suficiente rapidez cuando cambió el clima a lo largo de un período de tiempo prolongado.

Por ejemplo, *Magnolia*, presente en Cuba, con una distribución circumpolar durante el Terciario, se extinguió en Europa durante las épocas de hielo del Pleistoceno, sobreviviendo sólo en nuestra área presumiblemente por la orientación este - oeste de barreras como los Pirineos, los Alpes y el Mediterráneo, que bloquearon la migración desde el sur (Tralau, 1973).

En todo el análisis anterior, la velocidad de los cambios climáticos previstos constituye el principal factor determinante del tipo y el grado de impacto producido en los ecosistemas terrestres naturales. Esta velocidad será probablemente más rápida que la capacidad de respuesta de algunas especies, y las respuestas podrán ser súbitas o graduales.

No se prevé que los ecosistemas se desplacen como unidades aisladas, sino que adquieran nuevas estructuras como consecuencia de las alteraciones en la distribución y abundancia de especies. En algunos casos, la flora y la fauna pueden encontrarse en regímenes climáticos diferentes, que serán más o menos favorables y, por tanto, aumentarán la productividad de algunas especies y disminuirán la de otras.

Los ecosistemas terrestres naturales cambiarán de aspecto a medida que se modifique la localización de las especies que los componen y las especies que sean capaces de adaptarse sobrevivirán. Sin embargo, las especies más sensibles, en particular aquéllas cuyas opciones se hallan limitadas, quedarán reducidas o desaparecerán. Aún no se tiene una idea clara de cuáles son las mejores soluciones ante la perturbación ecológica producida por el cambio climático. De hecho, se ha prestado poca atención a este problema. No obstante, lo que sí está claro es que estos cambios climáticos tendrán un impacto enorme sobre las comunidades y las poblaciones aisladas, y a mediados de este siglo pueden prevalecer sobre cualquier otra consideración.

Indirectamente, el posible cambio en la composición de las especies de la vegetación podría tener efectos adversos entre los grupos zoológicos, ya sea por que basen su alimentación en ellas, o por la desaparición de sus lugares de nidificación, a manera de ejemplo.

Los razonamientos establecidos presentan algunas limitaciones derivadas (a) del desconocimiento de los efectos a largo plazo del aumento de la temperatura sobre numerosos ecosistemas terrestres naturales; y (b) de la imposibilidad de aplicar este planteamiento a los efectos interactivos en los ecosistemas (p.ej., competitividad y empleo por herbívoros). Estas restricciones ayudan a explicar por qué las evaluaciones de las consecuencias de los cambios climáticos para los ecosistemas terrestres naturales tienen tanto de especulación.

A esto se suma que el análisis del comportamiento de la biodiversidad ante los cambios climáticos, tanto en la distribución geográfica de las zonas climáticas asociadas a los ecosistemas como en su composición, se complican por

la escasez de datos que, incluso en muchas especies son inexistentes. Por ello, un estudio más integral de este comportamiento, precisaría de un análisis a escala local y regional de los ecosistemas más vulnerables.

También hay que recordar los intereses económicos que están en juego. Las especies silvestres constituyen una de las bases de la industria turística, que mueve miles de billones en el mundo entero y que representa una de las fuentes más importante de ingresos exteriores en nuestro país; además la explotación de la fauna continúa siendo un medio de vida para algunas personas, junto a su uso como fuentes de alimento, comercio y medicina.

Debido al importante papel del sector forestal en los ciclos ecológicos y en el desarrollo económico, existe la necesidad de desarrollar recomendaciones a nivel tanto nacional como internacional en respuesta al cambio del clima. Aunque persisten las incertidumbres acerca de la velocidad y magnitud del cambio climático, entre las medidas que deben tomar las distintas naciones se encuentra la recogida de datos de los programas nacionales y multilaterales de las agencias para el desarrollo, que deben ser coordinados con los programas nacionales de protección y reglamentación de la silvicultura.

Tabla 1. Cantidad de registros de los ficheros de referencia taxonómicos creados

DICCION.	orden	suborden	fam.	Subfam.	género	epit.esp.	epit.infr.	especie	sinón.
Ácaros	2	6	41		123	198	13	242	
Anfibios	1		4		5	35	12	41	33
Arácnidos	9	1	41	2	129	182	13	255	49
Ascidia	3		13		30	40		38	
Aves	21		55		205	320	202	602	
Celenterados	3		27		70	61	37	161	
Céstodos	1		2		4	4		4	
Crustáceos	2		21		132	218	6	234	
Erizos			13		18	21	4	23	
Estrellas	2		8		16	18		17	
Holoturia			5		17	23		26	
Insectos	8	2	183	40	1547	2091	145	3680	
Moluscos	4	1	107	11	947	1391	133	1676	
Nemátodos	7		19		36	44		48	21
Ofiuros			11		26	56		60	
Peces	29	18	131	25	13	544	24	678	14
Poliquetos	1		43		162	217		230	
Poríferos	1		53		190	227	2	265	
Reptiles	2	1	14		24	252	247	249	
Tremátodos	2		3		4	3		4	
Zoología	98	29	794	78	3698	5945	838	8533	117
Botánica			738		16379	5501	996	13320	8026
TOTAL	98	29	1532	78	20077	11446	1834	21853	8143

Tabla 2. Cantidad de registros de los ficheros de referencia no taxonómicos creados

Fichero de Referencia	Zoología	Botánica
Colecciones Biológicas	20	34
Forma de Conservación	19	
Literatura	21	47
Localidad de Colecta	5141	2764
Método de Colecta	80	
Nombres Comunes	525	2527
Tipo de Fondo	319	
Tipo de Habitat	55	
Ubicación en la Colección	13	

Tabla 3. Bases de datos alfanumérica creadas en algunas colecciones biológicas cubanas

Base de Datos	Registros	Base de Datos	Registros
IES (Botánica)		IDO Zoología Marina	
Bibliografía	3789	Anémonas	16
Endémicos	26986	Anomuros	62
Espermoteca	987	Ascidias	77
Herbario de Consulta	790	Braquiuros	1267
Herbario HAC	42619	Celenterados	2
IES (Zoología)		Corales	5247
Anfibios	2288	Crustáceos	77
Arácnidos	2746	Erizos	83
Aves	109	Estrellas	33
Céstodos	10	Gorgonias	90
Coleópteros	4537	Holoturias	63
Dípteros	986	Isópodos	61
Hemípteros	3891	Larvas de Peces	58
Heterópteros	20	Moluscos	1242
Homópteros	13	Ofiuros	57
Lepidóptera	14230	Peces	2110
Moluscos	1983	Poliquetos	434
Nemátodos	130	Poríferos	967
Peces	2270	Jardín Botánico Nacional	16604
Reptiles	15512	UMA Camagüey (Botánica)	4342
Tremátodos	7	MNHN (Botánica)	1932
UMA Cmgüey (Zoología)	159	TOTAL	158886

Tabla 4. Relación de mapas adquiridos por el SIG.

Mapas por secciones
III Constitución geológica 1. Geología 12. Yacimientos minerales
IV Relieve 1. Hipsometría 5. Angulos de las pendientes 14. Evaluación para la agricultura
V. Carso 1. Carsología
VI Clima 15. Temperatura media anual 31. Ritmo anual de las precipitaciones 48. Condiciones climáticas anuales para la vida de la población 55. Regionalización climática general
VII Recursos Hídricos 1. Densidad de la red fluvial
VIII El Mar 18. Amplitud y características de la marea 20. Arrecifes coralinos
IX Suelos 1. Tipos de suelos 4. Erosión actual 6. Salinidad 11. Agroproductividad
X Flora y Vegetación 1. Vegetación actual 10. Areas de alto endemismo
XI Fauna 10. Aves endémicas
XII Paisajes 9. Categorización de los paisajes para la conservación
XIII Población y Asentamientos 1. Distribución de la población
XIV Infraestructura Social 9. Aguas medicinales
XV Recursos Naturales 3. Recursos pesqueros marinos 5. Evaluación cualitativa de las tierras para uso agropecuario
XVI Agricultura, Ganadería y Silvicultura 1. Uso de la Tierra 54. Ganadería
XVII Economía azucarera 1. Industria azucarera
XVIII. Industria 5. Electroenergética
XX Transporte y Comunicaciones 1. Sist. de transporte de uso general
XXIII Medio Ambiente 1. Medio Ambiente 21. Areas para la protección de la naturaleza y su evaluación como biocentros

Tabla 5. Bosques siempreverde y semideciduo presentes en Cuba propuestos por varios autores.

Autores	Siempreverde	Semideciduo
Berazaín (1979)		Típico Húmedo Seco
Capote y Berazaín (1984, 1989)	mesófilo micrófilo (monte seco)	mesófilo micrófilo
Borhidi (1991, 1996)	De llanura estacional bajo estacional submontano	mesofítico xerofítico
Del Risco (1995)	montano llanura	<i>sensu lato</i> costero y subcostero

Tabla 6. Bases de datos espaciales de partida.

Nombre (Nemotécnico) de la Capa	Tipo	Descripción
DPA_Muni	Areal	Areas de los municipios
Rangos_relieve	Areal	Alturas por rangos
Temperatura	Areal	Temperatura media anual del aire
Precipita	Areal	Precipitación media anual (1964-83)
Suelos	Areal	Agrupaciones de suelos
Vegeta	Areal	Vegetación actual

Tabla 7. Descripción de los campos de las bases seleccionadas.

Nombre (Nemotécnico) de la Capa	Campos	Tipo	Descripción
DPA_Muni	ID	Integer	Identificador espacial
	Nombre_Provincia	Caracter	Nombre de la provincia
	Nombre_Municipio	Caracter	Nombre del municipio
Rangos_relieve	ID	Integer	Identificador espacial
	Altura_m	Integer	Altura en metros
Temperatura	ID	Integer	Identificador espacial
	Temperatura	Caracter	Rango de temperatura de las áreas
Precipita	ID	Integer	Identificador espacial
	Precipitación_mm	Caracter	Rango de precipitación de las áreas
Suelos	ID	Integer	Identificador espacial
	Código_Agrupamiento	Integer	Código del Agrupamiento de suelos
	Agrupamiento	Carácter	Nombre del Agrupamiento de suelos
Vegeta	ID	Integer	Identificador espacial
	Número_map	Integer	Número del tipo de vegetación
	Vegetación	Carácter	Estado de la vegetación
	Formación	Carácter	Formación vegetal
	Latifolio	Carácter	Si es latifolia
	Perennifol	Carácter	Si es perennifolia
	Tipo	Carácter	Tipo de vegetación
Subtipo	Carácter	Subtipo de vegetación	

Tabla 8. Area de distribución actual, prevista y diferencia entre las mismas, de las formaciones vegetales presentes en la zona de estudio.

FORMACION VEGETAL	AREA (Km ²)		
	ACTUAL	PREVISTA	DIFERENCIA
Pluvial submontano bajo (400-800 m)	3.80	4.2	0.4
Pluvial montano alto (800-1600 m)	230.51	234.68	4.17
Nublado típico (1600-1900 m)	26.30	22.34	-3.96
Subpáramo (Monte fresco)	3.23	2.97	-0.26
Complejo de vegetación mogote	0.09	0.09	0
Semideciduo mesófilo con humedad fluctuante	12.61	11.43	-1.18
Vegetación segetal	3.74	3.73	-0.01
Sabanas seminaturales	32.68	32.68	0
Vegetación secundaria	12.55	13.78	1.23
Siempreverde mesófilo submontano (400-800 m)	102.73	110.03	7.3
Pinar con Pinus maestrensis	22.72	22.72	0
Matorral montano bajo con elementos de pinar	7.70	0	-7.7