

# **Sistema de Información Bioclimática para la Gestión Ambiental en Canarias** \_\_\_\_\_

*Francisco José Ferrer Ferrer*

*Pedro Gilberto Cabrera Oliva*

*Depto. Parasitología, Ecología y Genética. Universidad de La Laguna.*

*38206-LA LAGUNA (Tenerife)*

## **Planteamiento**

Durante la segunda mitad del siglo XX se ha venido a tomar conciencia de que la crisis ambiental podría ser un síntoma de las deficiencias del actual modelo de desarrollo (Meadows *et al*, 1972), como ha sido respaldado por diversos organismos internacionales (World Commission on Environment and Development, 1987).

A corto plazo el proceso de desarrollo ha logrado cierto éxito, pero a medio plazo se están propiciando efectos muy negativos, como el agotamiento y la degradación de algunos recursos y el incremento de la contaminación. Además, cabe la posibilidad de que se estén produciendo cambios a largo plazo en los procesos de la Biosfera que podrían poner en peligro la subsistencia de la especie humana.

Aunque se han realizado diferentes análisis y diagnósticos del actual modelo de desarrollo ninguno parece haber ofrecido una solución efectiva. Se plantea que posiblemente las dificultades para resolver los problemas ambientales se deben al carácter analítico de la ciencia, siendo necesario definir un contexto interpretativo más integrado, aprovechando los modelos que ofrece la Ecología sobre las interacciones que se producen entre los factores físico-químicos y bióticos. Pero con una perspectiva más amplia que incluya la población humana y sus construcciones intelectuales (cultura, ciencia, tecnología, gestión), en la línea de lo que Vernadsky (1926) calificó de Noosfera.

Asumir una perspectiva amplia y comprensiva de la realidad nos permitiría desarrollar un modelo de gestión ambiental orientado a mejorar o ampliar nuestra capacidad predictiva. Pero, al ser nuestro esquema demasiado complejo es necesario centrarse sobre aquella información que resulte más significativa, utilizándose como hilo conductor para desarrollar un sistema de información ambiental que sea operativo.

El clima ocupa una posición central en la red de relaciones que configuran la estructura y la dinámica de la Noosfera y representa un aspecto de máxima importancia en múltiples actividades económicas, hasta el punto que podría estructurarse un sistema de información ambiental en torno al clima.

## 1. Planteamiento

---

### Desarrollo y crisis ambiental.

Por regla general, el tamaño de las poblaciones de los organismos que viven en estado natural permanece estable en torno a un cierto límite o capacidad de carga que depende de las estrategias adaptativas de las especies, de los recursos disponibles para cada una de ellas, de las condiciones ambientales a las que se ven sometidas y de las perturbaciones que caracterizan el medio donde viven. Sin embargo, la especie humana presenta la particularidad de que a lo largo de su historia ha mantenido un crecimiento continuado de la población, estrechamente asociado a su desarrollo cultural, que le ha permitido optimizar la obtención de los recursos y aumentar así su capacidad de carga.

A lo largo del siglo XIX y en la primera mitad del XX se estableció la idea de que la cultura, el conocimiento y la capacidad para explotar el medio, conjunto de componentes que configuran lo que se conoce como desarrollo, ha jugado un papel crucial en la sostenibilidad de la población humana, asumiéndose que la referida capacidad constituye una característica que diferencia a la humanidad del resto de los seres vivos. Sin embargo, durante la segunda mitad del siglo XX se ha venido a tomar conciencia de que, aunque a corto plazo el proceso de desarrollo ha logrado cierto éxito, se están propiciando a medio plazo efectos muy negativos, como el agotamiento y la degradación de algunos recursos y el incremento de la contaminación. Además, cabe la posibilidad de que se estén produciendo cambios a largo plazo en los procesos de la Biosfera que podrían poner en peligro la subsistencia de nuestra especie. La toma de conciencia de estos problemas cuestiona si realmente el hombre se sitúa por encima de los demás organismos, como se había establecido anteriormente. Lo cual evidencia la especial transcendencia de lo que se conoce como crisis ambiental.

La crisis ambiental no depende de circunstancias externas, sino que está asociada a la propia dinámica de la especie humana a la que cabría calificar de poco adaptativa por su incapacidad para interpretar los efectos de nuestras propias acciones a medio y largo plazo y a la falta de conocimiento sobre cual es la estrategia de actuación que garantiza mejor nuestra subsistencia.

La percepción de la crisis ambiental se interpretó en sus inicios como una moda pasajera y más tarde como el resultado de ciertas deficiencias técnicas que podrían corregirse fácilmente. Pero serían las formulaciones del Club de Roma (Meadows et al, 1972) las que darían un reconocimiento internacional a la crisis ambiental, al considerar que representaba una deficiencia del mismo sistema de desarrollo. Asumir esta interpretación de la crisis ambiental ha llevado a plantear la necesidad de modificar el actual modelo de desarrollo por un modelo de desarrollo sostenible a largo plazo que "... satisfaga las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades", tal como se recoge en el "Informe Brundtland" (World Commission on Environment and Development, 1987).

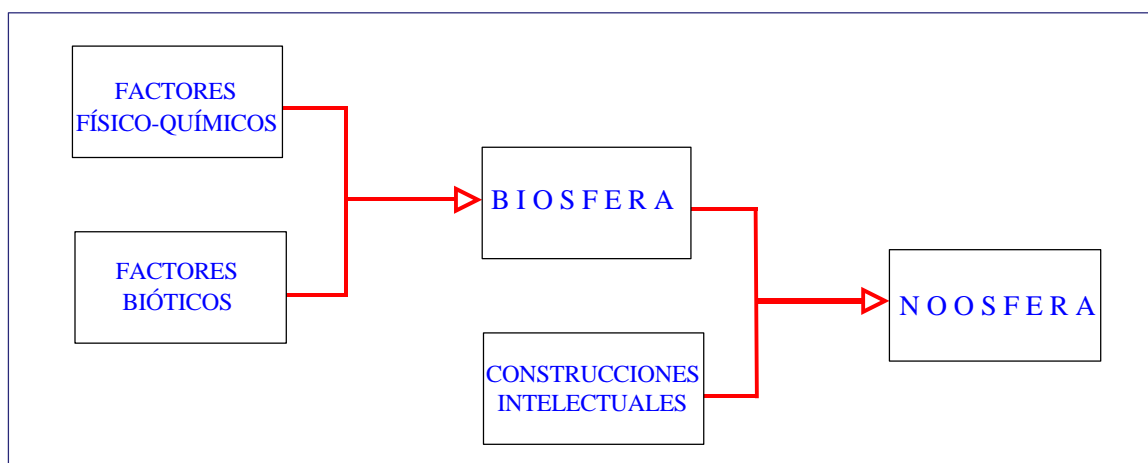
## Necesidad de un enfoque científico integrado.

Aunque se han realizado diferentes análisis y diagnósticos del actual modelo de desarrollo ninguno parece haber ofrecido una solución efectiva. Se ha visto que la primitiva interpretación de que los temas ambientales eran una moda resulta ingenua; y las correcciones de carácter técnico y legal realizadas en la gestión tampoco han conseguido mayor éxito. De tal forma que, actualmente la idea de desarrollo sostenible sólo se utiliza como una nueva declaración de principios.

Posiblemente, las dificultades para resolver los problemas ambientales se deben a que la ciencia los aborda desde una perspectiva analítica, siendo necesario definir un nuevo contexto interpretativo más integrador que complemente la visión analítica y permita formular un modelo de desarrollo sostenible operativo.

La Ecología proporciona modelos sobre las interacciones que se producen entre los factores físico-químicos y bióticos en un contexto comprensivo como el representado por el concepto de ecosistema o el concepto de Biosfera. Pero se precisa una perspectiva más amplia que incluya la población humana y sus construcciones intelectuales (cultura, ciencia, tecnología, gestión), cuyo desarrollo ha tenido un especial protagonismo adaptativo, actuando como un factor más de la dinámica de una totalidad a la que Vernadsky (1926) calificó de Noosfera (Fig. 1).

El concepto de Noosfera concede una especial relevancia a las respuestas adaptativas de las especies, incluidas las de la especie humana, y a la incidencia de mecanismos de retroalimentación negativa entre los diferentes organismos y su medio para garantizar la sostenibilidad de ciertas estructuras bióticas a largo plazo (individuos, poblaciones y comunidades). Este esquema resulta realista a la hora de interpretar la actual dinámica ambiental, para lo cual no basta considerar los aspectos físico-químicos y bióticos, sino que se precisa considerar las motivaciones y los intereses humanos, sin los cuales resultaría incomprensible la dinámica ambiental (Nicolás et al, 1994).



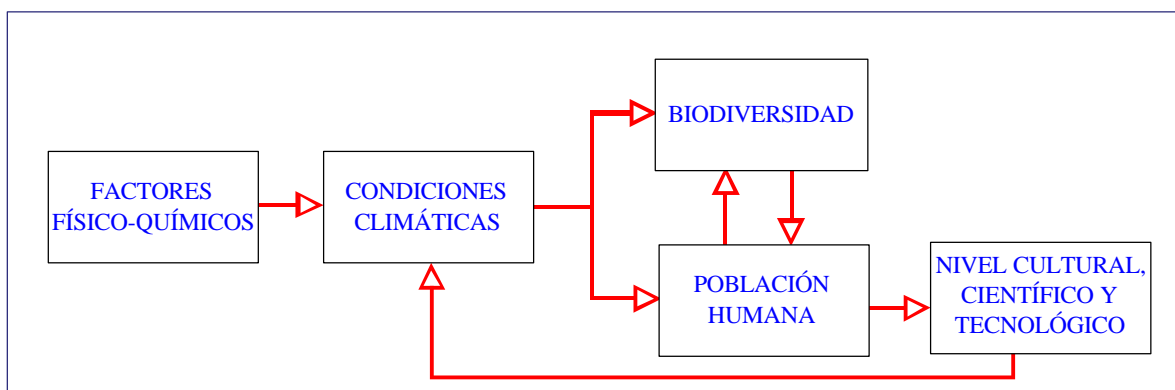
**Figura 1. Proceso de integración para configurar modelos más comprensivos sobre la dinámica ambiental.**

## Modelo operativo sobre la dinámica ambiental.

Asumir una perspectiva amplia y comprensiva de la realidad, como se ha propuesto anteriormente, nos permitiría desarrollar un modelo de gestión ambiental orientado a mejorar o ampliar nuestra capacidad predictiva. Pero, al ser nuestro esquema demasiado complejo el modelo resultaría poco operativo. Para superar esta situación, proponemos mantener una perspectiva amplia e integrada, pero centrada sobre aquella información que resulte más significativa, utilizándose como hilo conductor para desarrollar un sistema de información ambiental.

Entre los diferentes sectores o componentes de información ambiental, el clima ocupa una posición central en la red de relaciones que configuran la estructura y la dinámica de la Biosfera y representa un aspecto de máxima importancia en múltiples actividades económicas. Esto último explica que actualmente se disponga de una cantidad considerable de datos climáticos recogidos en toda la superficie terrestre en condiciones estandarizadas.

Se podría definir un sistema de información ambiental estructurado en torno al clima, si consideramos la dinámica de la Biosfera como resultado de la interacción entre varios subsistemas representados por los factores físico-químicos (meteorológicos e hidrológicos), las condiciones climáticas, la biodiversidad, la población humana y su grado de desarrollo cultural científico y técnico (Fig. 2).



**Figura 2. Modelo operativo estructurado en torno al clima que integra factores físico-químicos, bióticos y humanos.**

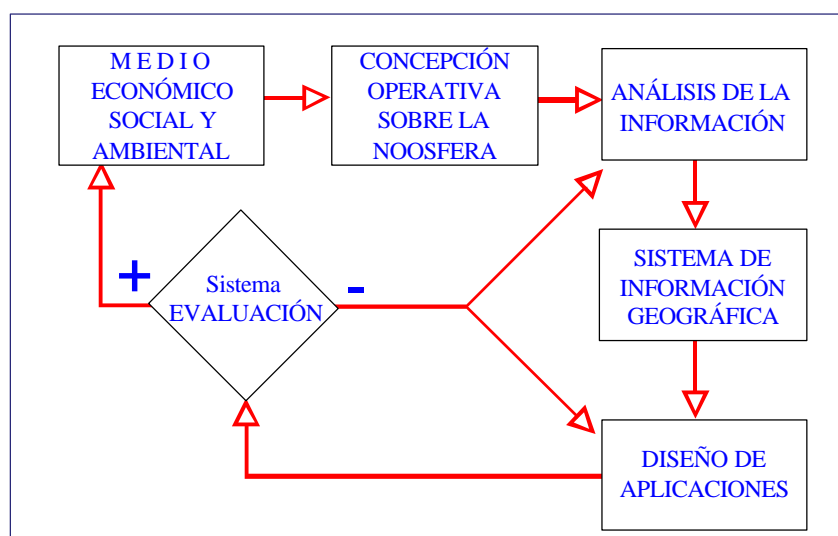
La dinámica de la Biosfera está condicionada por el soleamiento diferencial de la Tierra, que impulsa la dinámica de la atmósfera y de los océanos, condicionando a su vez la variación latitudinal del clima, el cual puede caracterizarse mediante la combinación de un conjunto de variables (insolación, temperatura, humedad relativa, precipitación, etc.), que condicionan la biodiversidad de la Biosfera, así como numerosas actividades económicas (agricultura, edificación, turismo, etc.) cuya repercusión ambiental depende del nivel cultural, científico y tecnológico de la población.

Actualmente el nivel científico y tecnológico alcanzado nos permite adoptar una actitud orientada a acondicionar el medio a nuestras actividades variando las condiciones climáticas, aún corriendo el riesgo de poner en peligro la subsistencia de nuestra propia población. Se plantea la necesidad de adoptar un comportamiento más adaptativo orientado a adecuar las actividades humanas

a las condiciones climáticas, mediante una transformación cultural y tecnológica que evite cambios a largo plazo en la dinámica de la Biosfera.

## 2. Metodología general para el desarrollo de un sistema de información ambiental.

Un sistema de información ambiental posibilita la interpretación de la realidad, pero su utilización como elemento predictivo y de gestión exige llegar a un alto nivel de precisión mediante el desarrollo de esquemas técnicos lo suficientemente comprensivos y precisos como para que se adecuen a la actividad profesional de sus posibles usuarios, o sea, no basta con que el sistema de información sea operativo, sino que también debe ser profesional y estar en consonancia con el medio económico, social y ambiental en el que se actúa (Fig. 3).



**Figura 3. Metodología general para el desarrollo de un Sistema de Información Ambiental.**

El sistema de información ambiental se estructura en torno a un modelo operativo que permita integrar diferentes fuentes de información, siguiendo el esquema conceptual referido sobre la Noosfera. Cuando hablamos de fuentes de información no sólo nos referimos a variables cuantitativas y cualitativas, que normalmente ofrecen datos escasos incompletos y sesgados temporalmente, sino también a otras fuentes de información empírica y teórica que pueden utilizarse para homogeneizar espacial y temporalmente las variables del sistema (análisis de la información).

Este proceso permite obtener datos homogeneizados que se pueden almacenar en un G.I.S. (Sistema de Información Geográfica), que facilita el desarrollo de aplicaciones al permitir integrar información procedente de diferentes ámbitos profesionales relacionados con la gestión y la planificación. Pero el sistema de información ambiental no sólo debe incluir datos, modelos teóricos y de contraste experimental, sino que además debe incluir procedimientos técnicos y protocolos de evaluación de las aplicaciones diseñadas para actividades específicas relacionadas con la economía, la sociedad y el medio ambiente (Fig. 3).

El desarrollo de un sistema de información ambiental profesional precisa que el área seleccionada disponga de abundantes datos climáticos y que exista una clara demanda de aplicaciones ambientales por parte de los profesionales para justificar el esfuerzo que implica la recopilación y elaboración de los datos, el desarrollo de aplicaciones concretas y la distribución de dicha información.

En nuestro caso, se ha seleccionado Canarias por conocerse su dinámica ambiental, disponer de datos climáticos abundantes y por la especial significación de las condiciones climáticas en actividades relacionadas con el turismo, la agricultura, la edificación y el urbanismo (Ferrer et al, 1996b).

El sistema de información ambiental se ha restringido a la información climática, centrándonos inicialmente en unos pocos parámetros básicos que nos han permitido el desarrollo inmediato de una serie de aplicaciones concretas, cuya evaluación ha puesto de manifiesto las nuevas variables que es necesario incorporar al sistema.

### **3. Análisis de la información climática.**

---

El desarrollo del sistema de información ambiental se centra básicamente en el análisis de la información climática, diferenciándose las siguientes fases: recopilación y depuración de la información, elaboración de modelos topoclimáticos, extrapolación geográfica de la información y, por último, definición y carga del sistema de información geográfica (Fig. 4)

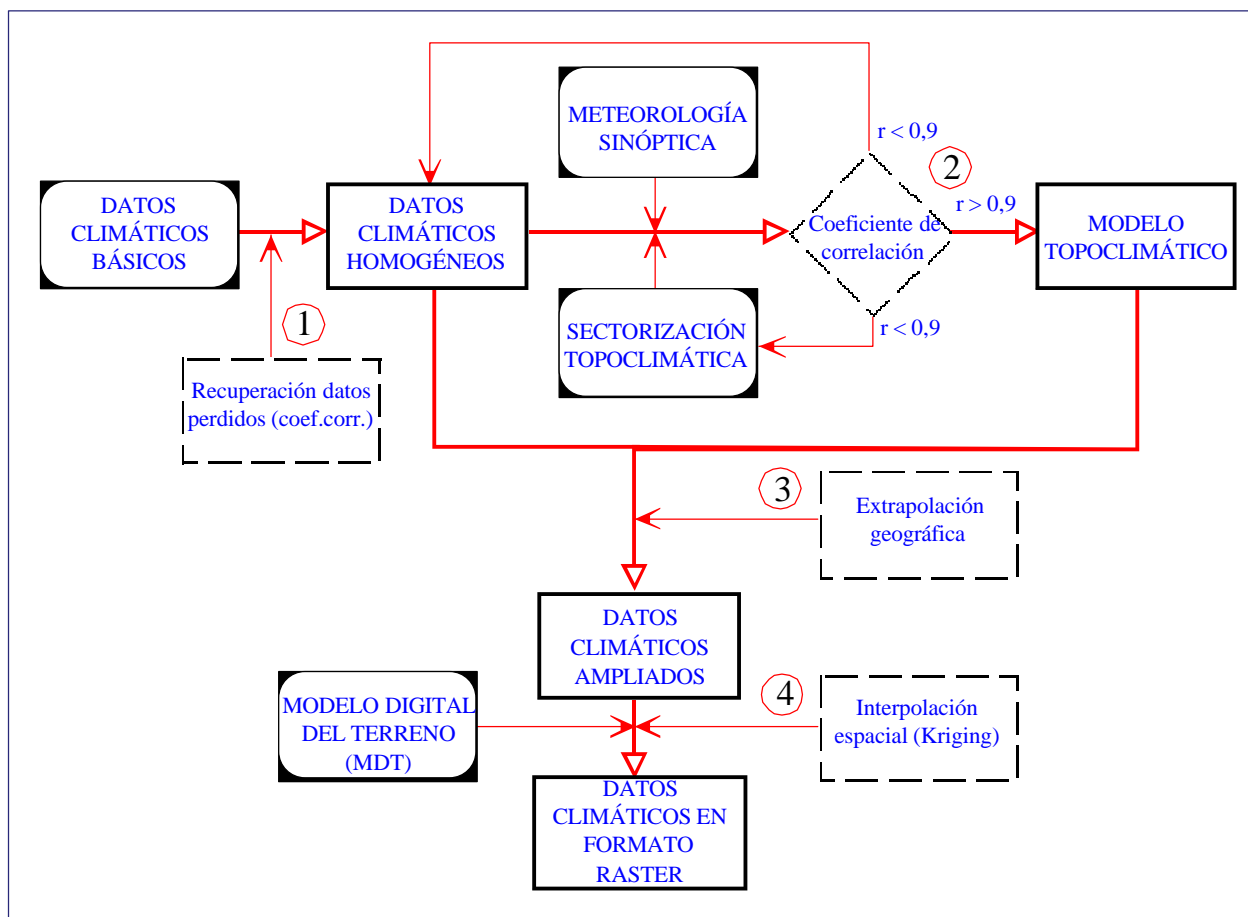
#### **Recopilación y depuración de la información.**

La información inicial procede de los datos climáticos básicos suministrados por la red de estaciones del Instituto Nacional de Meteorología en Canarias. Aunque esta información es abundante en la mayoría de las islas (Gran Canaria, Tenerife, Gomera, Hierro y la Palma), la escasa longitud de algunas series y la falta de muchos datos en otras islas (Lanzarote y Fuerteventura) dificulta la posibilidad de definir series temporales homogéneas.

Mediante la aplicación de técnicas estadísticas basadas en el cálculo del coeficiente de correlación, ha sido posible recuperar datos perdidos y corregir datos erróneos, aprovechando la redundancia entre los datos de diferentes estaciones meteorológicas (Ferrer et al, 1996a). Lo cual ha permitido obtener datos climáticos mensuales homogeneizados para un periodo de 30 años en el caso de la precipitación y de 10 años en el caso de la temperatura sobre las siguientes variables:

- ✓ Precipitaciones (mensuales y anual).
- ✓ Temperaturas medias (mensuales y anual).
- ✓ Temperaturas máximas medias (mensuales y anual).
- ✓ Temperaturas mínimas medias (mensuales y anual).
- ✓ Temperaturas máximas absolutas (mensuales y anual).

- ✓ Temperaturas mínimas absolutas (mensuales y anual).
- ✓ Oscilaciones térmicas (mensuales y anual).

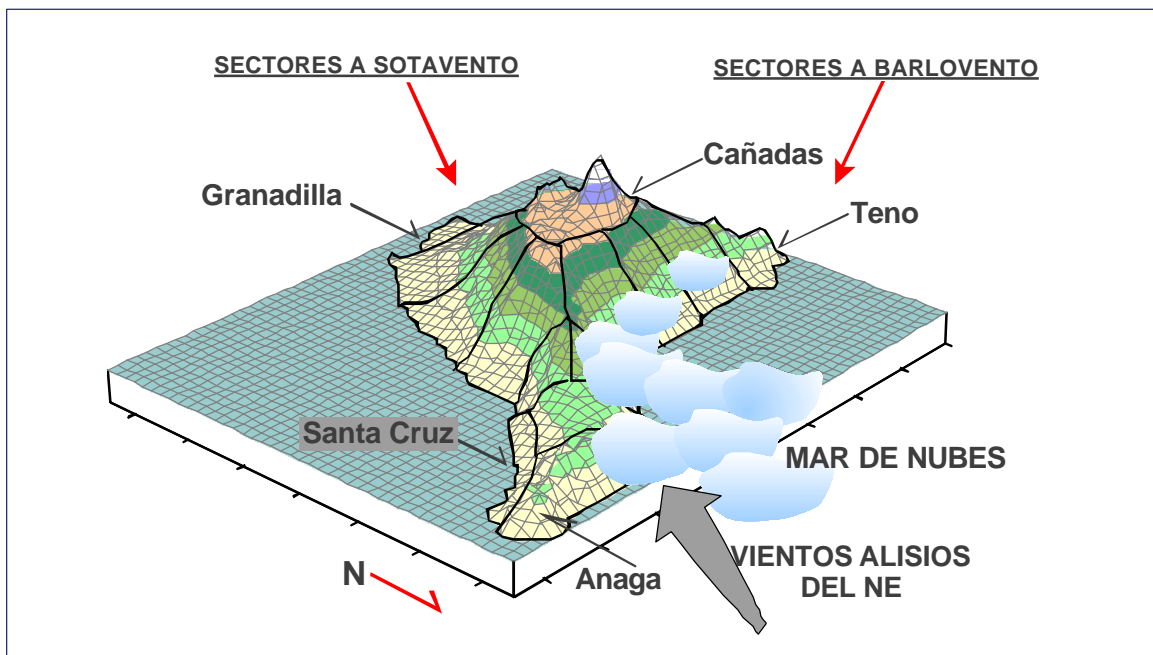


**Figura 4. Procedimiento para transformar los datos climáticos básicos de las estaciones meteorológicas en datos climáticos homogéneos en formato raster de IDRISI. Se diferencian las siguientes fases: (1) recopilación y depuración de la información, (2) elaboración de modelos topoclimáticos, (3) extrapolación geográfica de la información y (4) definición y carga del sistema de información geográfica**

## Elaboración de modelos topoclimáticos.

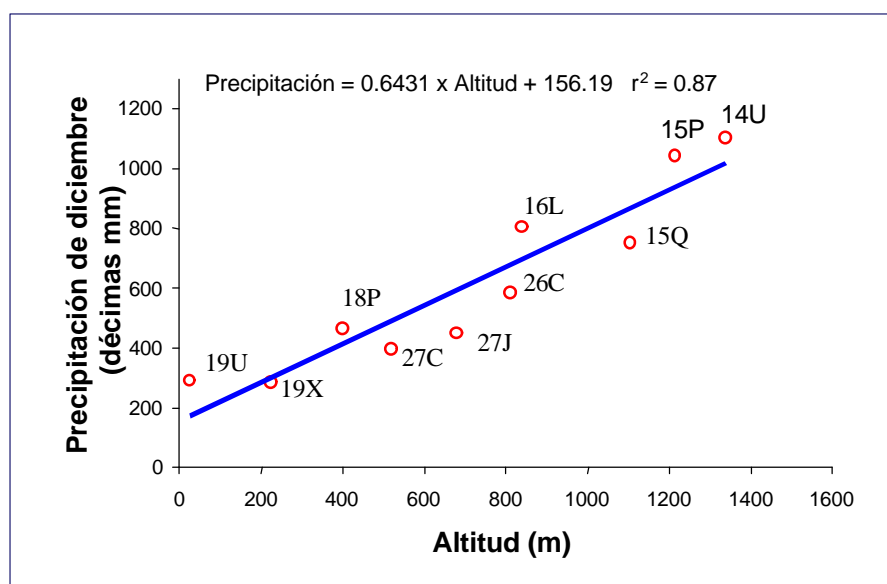
A la vez que se homogeneizan los datos climáticos se elaboran patrones de variación topoclimática para los diferentes sectores en que se ha descompuesto cada isla, definidos en función de las interacciones que se producen entre la fisiografía del terreno y las masas de aire, teniendo en consideración las situaciones sinópticas asociadas a las condiciones climáticas (Font Tullot, 1955, 1956; Huetz de Lemps, 1969; Marzol, 1993a,b; Dorta et al, 1993 y Dorta, 1996) (Fig. 5).

Para delimitar cada uno de los sectores topoclimáticos se ha estimado un modelo de regresión de cada variable climática básica en función de la altitud tomada como variable independiente (Fig. 6). Aunque inicialmente se prestó especial atención a la variación altitudinal de la precipitación por ser la variable climática que mayor variación espacial presentaba. Los sectores topoclimáticos se definen de tal forma que, el conjunto de estaciones meteorológicas pertenecientes a un mismo sector sea aquél que minimice la varianza en la dispersión de los datos climáticos respecto a la altitud y los límites geográficos resultantes sean coherentes con la orientación y la exposición a los vientos dominantes de cada sector (Ferrer, 1989). Cuando el patrón de variación no es continuo, sino que presenta puntos de inflexión, se realizan ajustes parciales para los diferentes tramos altitudinales. La significación de los modelos topoclimáticos se realiza utilizando el coeficiente de correlación de Pearson.



**Figura 5. Sectores topoclimáticos definidos en la isla de Tenerife (línea negra gruesa) y representación de la interacción de la orografía insular con las masas de aire húmedo durante una situación dominada por los vientos Alisios del NE.**





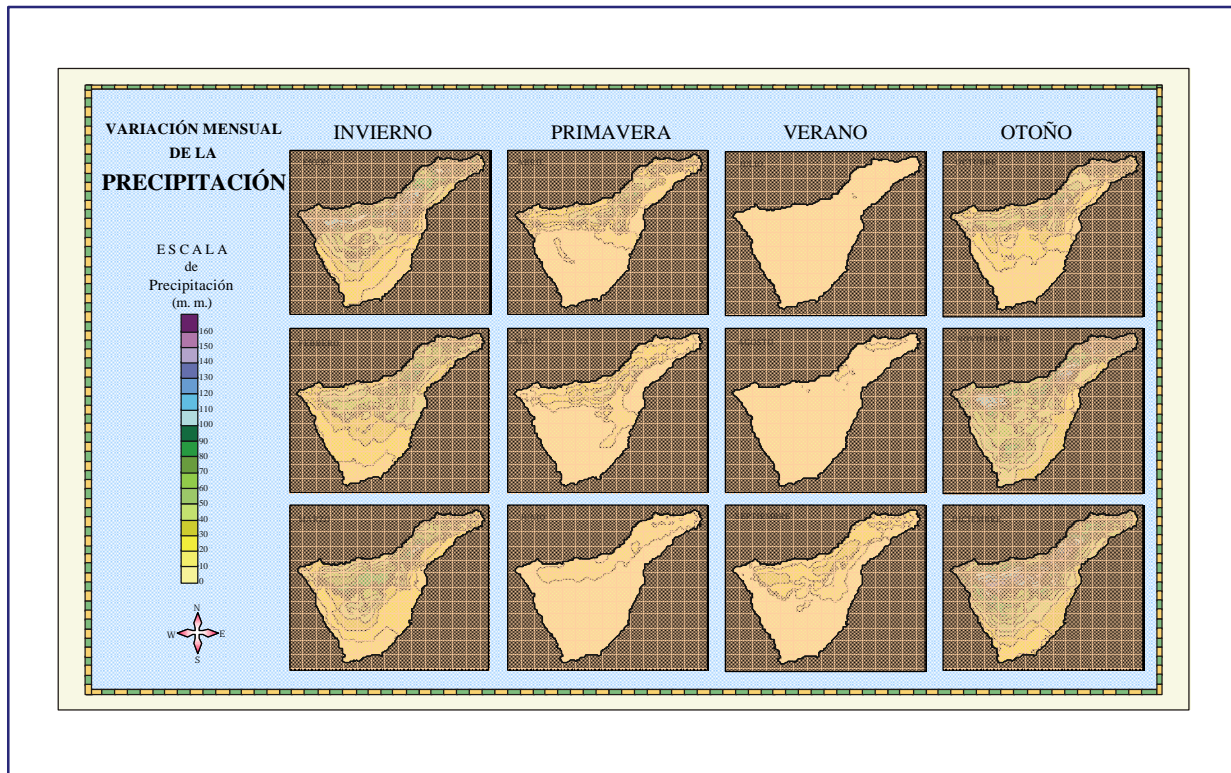
**Figura 6. Modelo topoclimático correspondiente a la variación altitudinal de la precipitación de diciembre en el sector 2 de la Gomera. Las etiquetas identificativas se refieren al código de la estación meteorológica.**

### Extrapolación geográfica de la información.

Debido a que la distribución espacial de las estaciones no es homogénea, se ha procedido a extrapolar la información climática homogeneizada a diversas áreas del territorio, particularmente de las que no se dispone de suficiente información, procediendo a estimar los valores correspondientes a una malla de puntos regularmente distribuidos en la geografía de las islas y de una serie de puntos especialmente significativos por sus características fisiográficas, utilizando los modelos topoclimáticos de cada sector. De esta forma se obtiene una colección más amplia de puntos con dato que la proporcionada por las estaciones meteorológicas.

### Definición y carga del sistema de información geográfica.

Para la creación del sistema de información geográfica (G.I.S.) se ha utilizado el programa IDRISI y el modelo digital del terreno (MDT) proporcionado por el Instituto Geográfico Nacional, con una cuadrícula de 200 x 200 m.



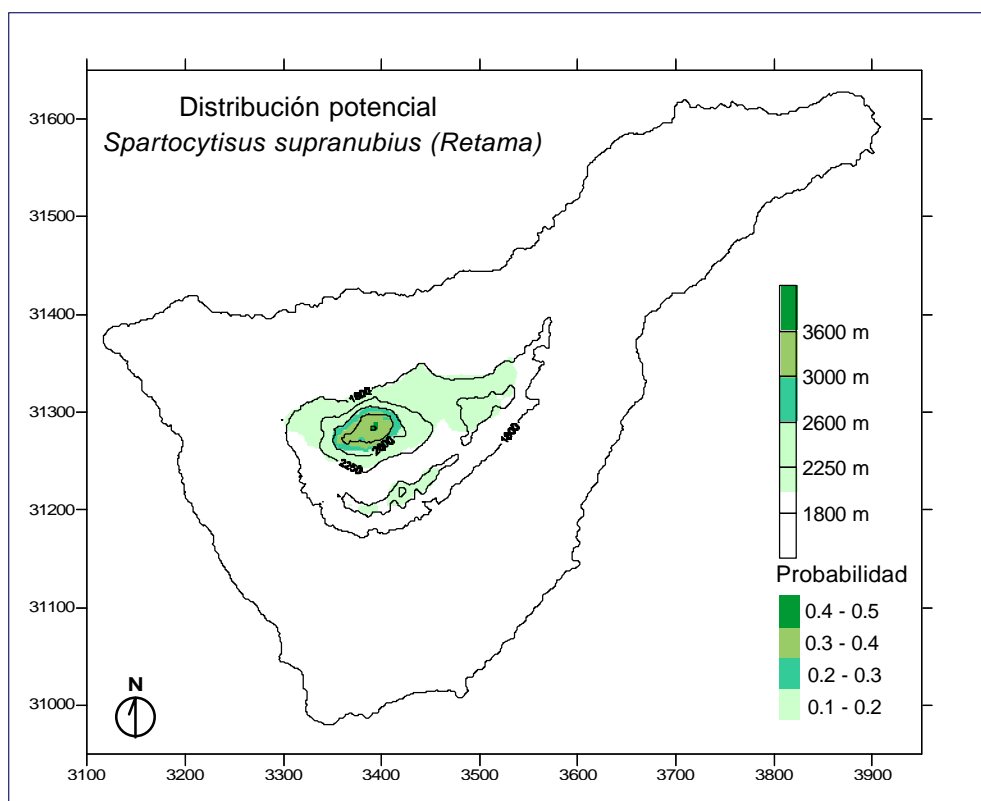
**Figura 7. Representación gráfica de la variación mensual de la precipitación en Tenerife elaborada con el programa Corel Draw.**

A partir de la malla de puntos con dato, resultado de la extrapolación geográfica realizada anteriormente, se ha obtenido la información climática para cada uno de los pixels del MDT aplicando procedimientos de interpolación espacial (Kriging). Las imágenes obtenidas para cada variable se han almacenado en formato raster de IDRISI y en tablas del programa estadístico SPSS, donde cada columna se corresponde con una variable climática y cada fila con una celdilla del MDT. Este formato permite realizar cálculos rápidamente y consultas sobre una misma celdilla utilizando a la vez todas las variables climáticas. Los resultados se ofrecen en forma de tablas, gráficos y mapas (Fig.7).

## 4. Desarrollo de aplicaciones.

De poco sirve disponer de información climática homogeneizada que refleje fielmente las interacciones que se producen entre la atmósfera, el océano y la orografía de las islas, si no resulta operativa para abordar diferentes objetivos de investigación ecológica y de gestión ambiental.

Para garantizar la adecuación de la información proporcionada por el sistema se necesita desarrollar procedimientos sobre su utilización práctica que resulten significativos para cada actividad y proporcionar los datos necesarios en un formato que sea adecuado a la forma de trabajar de los usuarios. Además, en muchos casos se necesita disponer de otros datos (bióticos, edáficos, hidrológicos, etc.).

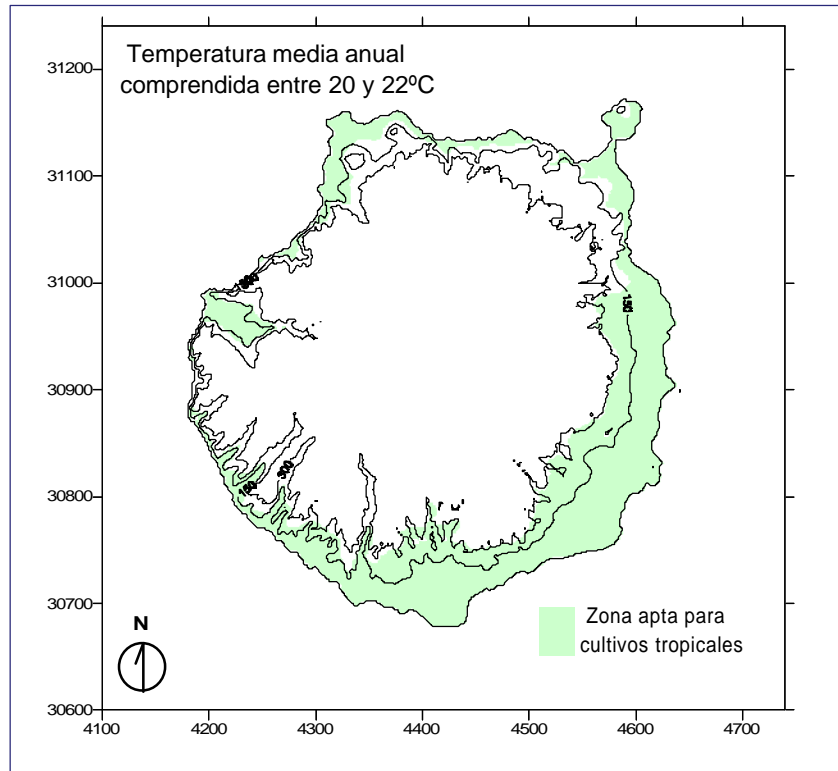


**Figura 8. Distribución potencial de *Spartocytisus supranubius* (Retama del Teide).**

En la actualidad se están desarrollando aplicaciones relacionadas con la investigación ecológica, la agricultura, la edificación bioclimática, la divulgación y el turismo, teniéndose previsto desarrollar próximamente aplicaciones relacionadas con el balance hidrológico, el urbanismo, los seguros y el ocio.

Las aplicaciones orientadas a la investigación ecológica están relacionadas con la determinación de las características climáticas que definen el hábitat de las especies vegetales más

representativas de Canarias. Para lo cual, se ha recopilado unas 1700 unidades de muestreo de Tenerife con información sobre 300 especies vegetales y se han cruzado con la información climática, obteniéndose como resultado una matriz en que cada especie viene caracterizada en función de las 91 variables climáticas analizadas. A partir de esta matriz de información cruzada ha sido posible identificar las variables climáticas que más limitan el hábitat de cada especie (Ferrer y Cabrera, 1999), información que se puede utilizar para estimar su distribución potencial (Fig. 8).



**Figura 9. Localización de las zonas aptas para cultivos tropicales en Gran Canaria.**

También se están desarrollando algunas aplicaciones relacionadas con la agricultura, como la localización de las zonas más aptas para determinados cultivos (Fig. 9), y la arquitectura bioclimática. A este respecto, se están aprovechando los contactos iniciados con arquitectos interesados en elaborar un manual de *Arquitectura Bioclimática en Canarias*, iniciativa que surgió a raíz de un curso sobre aprovechamiento de las energías renovables y ahorro energético organizado en la UIMP con sede en Tenerife por el Área de Ecología de la Universidad de La Laguna y el Colegio de Arquitectos de Santa Cruz de Tenerife. Como resultado de esta experiencia se ha planteado la necesidad de incorporar al sistema de información nuevas variables como humedad relativa, radiación, oscilación diaria de la temperatura, dirección y velocidad del viento.

Un carácter más general tiene la publicación de un Atlas climático básico que resultará útil a profesionales relacionados con la elaboración de proyectos sobre evaluación de impacto ambiental, planificación y educación ambiental. Con relación al turismo, se está analizando la significación de los índices de confort ambiental en las preferencias de los turistas por diferentes zonas de las islas.

## 5. Evaluación de los resultados y evolución del sistema de información ambiental.

---

El sistema de evaluación de los resultados abarca el control de calidad de los datos, la significación respecto a los objetivos aplicados y la facilidad para acceder a la información. El control de la calidad se realizó "a priori" estandarizando los diferentes procesos metodológicos implicados y "a posteriori" utilizando una serie de parámetros estadísticos para evaluar los resultados.

Los datos reflejan fielmente los hechos que describen cuando son precisos, exactos y homogéneos. La precisión se valora mediante la dispersión de los datos cuando se repite la medida en condiciones similares, la exactitud mide la diferencia entre el valor medido y el valor real del parámetro y la homogeneidad supone que las diferencias entre los observatorios no dependan significativamente del periodo o duración temporal de las series.

La clave de la evolución del sistema de información ambiental se basa en que los profesionales evalúen la efectividad de las aplicaciones producidas para, de esa forma, optimizar el grado de adecuación de los procedimientos seguidos y el grado de precisión de los datos. Lo cual abre la posibilidad de que el sistema se perfeccione de manera cíclica y progresiva al incorporarse nueva información ambiental y desarrollarse nuevas aplicaciones, evolucionando desde el sistema de información bioclimática inicial a un sistema de información ambiental de carácter más general.

Para facilitar el acceso a la información se han evaluado diferentes formatos (tablas de datos, cartografía, diagramas, etc.) y soportes (libro, atlas, CD-ROM e INTERNET), llegándose a la conclusión de que conviene adecuar el soporte a cada aplicación y disponer de la suficiente cartografía para dar respuesta a múltiples situaciones científicas y profesionales.

## 6. Bibliografía.

---

- De Nicolás, J.P., Ferrer, F.J. y Cabrera, P.G. (1994). Gestión ambiental y cambio del paradigma científico. En: Hernández, B., Martínez, J. y Suárez, E. (Eds.) *Psicología ambiental y responsabilidad ecológica*. Universidad de las Palmas de Gran Canarias: 112-127.
- De Nicolás, J.P. y Ferrer, F.J. (1999). Evaluación del impacto ambiental y ciencia integrada. En: González Alonso, S. (Ed.). *Homenaje a Don Ángel Ramos Fernández (1926-1998)*. Madrid: 1095-1110.
- Dorta, P., Marzol, M.V. y Valladares, P. (1993). Localisation et frequences des cellules de pression dans l'atlantique Nord, l'europa occidentale et le nord de l'Afrique (1983 -1992). *Publication de l'Association Internationale de Climatologie*, 6: 453-466.
- Dorta, P. (1996). Las inversiones térmicas en Canarias. Investigaciones Geográficas. *Anales de la Universidad de Alicante*, 15: 109-123.
- Ferrer, F.J., Cabrera, P.G., García, A. y de Nicolás, J.P. (1996a). Metodología sobre cartografía bioclimática. En: Marzol, M.V., Dorta, P. y Valladares P. (Eds.). *Clima y agua: gestión de un recurso climático*. La Laguna: 365-378.
- Ferrer, F.J., Cabrera, P.G., García, A. y de Nicolás, J.P. (1996b). Cartografía climática básica. Su significación aplicada. En: Marzol, M.V., Dorta, P. y Valladares P. (Eds.). *Clima y agua: gestión de un recurso climático*. La Laguna: 379-383.
- Ferrer, F.J. y Cabrera, P.G. (1999). A bioclimatic information system to study the multidimensional habitat of vascular plants on Tenerife (Canary Islands, Spain). *42nd Annual Symposium of the IAVS*. Bilbao.
- Font Tullot, I. (1955). Factores que gobiernan el clima de las Islas Canarias. *Estudios geográficos*, 58: 5-21.
- Font Tullot, I. (1956). El tiempo atmosférico en las Islas Canarias. Madrid. Servicio Meteorológico Nacional, serie A (memorias), 26.
- Huetz de Lemps, A. (1969). Le climat des Iles Canaries. París. S.E.D.E.S.
- Marzol, M.V. (1993a). Tipificación de las tres situaciones atmosféricas más importantes de las Islas Canarias. *Revista de Historia de Canarias. Homenaje a la Dra. Marrero*: 79-95.
- Marzol, M.V. (1993b). Los factores atmosféricos y geográficos que definen el clima del archipiélago canario. *Aportaciones en homenaje al profesor Luis Miguel Albentosa*: 151-176.
- Meadows, D.H., Meadows, D.L. & Behrens III, W.W. (1972). Los límites del crecimiento. México, Fondo de Cultura Económica.
- Vernadsky, V.I. (1997). La Biosfera. Fundación Argentaria - Visordis, S.A., serie Economía y Naturaleza, 9. (1ª Ed. 1926).
- World Commission on Environment and Development (1987). Our Common Future. OUP.

