

# **Propuesta de Sistema de Indicadores Climático Ambientales para Andalucía**

- **Los indicadores ambientales. Conceptos y situación actual**
- **Los indicadores climáticos-ambientales y su aplicación en Andalucía**
- **Los indicadores propuestos para la evaluación del estado del clima**
- **Los indicadores propuestos para la evaluación de los problemas climático-ambientales**
- **Referencias bibliográficas**



**M<sup>a</sup> Fernanda Pita López**

**Mónica Aguilar Alba  
Manuel Megías Casas  
Juan Mariano Camarillo Naranjo**

**COLABORADORES:**

**Lourdes Bermejo González  
David Colorado Campos  
Mariano Corzo Toscano  
Virginia Rodríguez  
Juan Sánchez Del Río Vázquez**

**DEPARTAMENTO DE GEOGRAFÍA FÍSICA Y ANÁLISIS GEOGRÁFICO REGIONAL  
UNIVERSIDAD DE SEVILLA**

**JUNIO 1998**

## **1. Los indicadores ambientales. Conceptos y situación actual**

### **1.1. Los indicadores ambientales: definición, evolución y aplicaciones**

### **1.2. El panorama actual de indicadores ambientales**

## **2. Los indicadores climáticos-ambientales y su aplicación en Andalucía**

### **2.1. Los indicadores climático-ambientales**

### **2.2. Propuesta de indicadores para la región andaluza**

## **3. Los indicadores propuestos para la evaluación del estado del clima**

### **3.1. Recursos climático-ambientales**

#### **3.1.1. Recursos hídricos**

#### **3.1.2. Recursos energéticos y helio-térmicos**

### **3.2. Riesgos climático-ambientales**

#### **3.2.1. Sequías**

#### **3.2.2. Precipitaciones intensas**

## **4. Los indicadores propuestos para la evaluación de los problemas climático-ambientales**

### **4.1. Reducción de la capa de ozono**

### **4.2. Acidificación**

### **4.3. Desertificación**

### **4.4. Cambio climático**

### **4.5. Contaminación atmosférica**

## **5. Referencias bibliográficas**

# 1. Los indicadores ambientales. Conceptos y situación actual

## 1.1. Los indicadores ambientales: definición, evolución y aplicaciones

Los indicadores ambientales surgieron como respuesta a la creciente preocupación social por los aspectos ambientales del desarrollo económico y social, y entroncan con la dilatada experiencia existente en el campo de los indicadores socioeconómicos.

Según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, la OCDE, un indicador es “un parámetro, o el valor resultante de un conjunto de parámetros, que ofrece información sobre un fenómeno, y que posee un significado más amplio que el estrictamente asociado a la configuración del parámetro”. La Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA) considera que un indicador es un “valor observado representativo de un fenómeno determinado. En general, los indicadores cuantifican la información mediante la agregación de múltiples y diferentes datos. La información resultante se encuentra pues sintetizada. En resumen, los indicadores simplifican una información que puede ayudar a revelar fenómenos complejos”.

En la publicación de la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente, titulada Indicadores Ambientales. Una propuesta para España, un indicador ambiental es definido como "una variable que ha sido socialmente dotada de un significado añadido al derivado de su propia configuración científica, con el fin de reflejar de forma sintética una preocupación social con respecto al medio ambiente e insertarla coherentemente en el proceso de toma de decisiones".

Así pues, un indicador ambiental es una variable que, mediante la síntesis de la información ambiental, pretende reflejar el estado del medio ambiente, o de algún aspecto de él, en un momento y en un espacio determinados, y que por ello adquiere gran valor como herramienta en los procesos de evaluación y de toma de decisiones políticas sobre los problemas ambientales. Un indicador ambiental debe por lo tanto cumplir una serie de requisitos fundamentales:

- Ser científicamente válido, estar basado en un buen conocimiento del sistema descrito.
- Ser representativo del conjunto.
- Ser sensible a los cambios que se produzcan en medio o en las actividades humanas relacionadas con él.
- Estar basado en datos fiables y de buena calidad.
- Ofrecer información relevante para el usuario, además de simple y clara para facilitar la comprensión de la misma por parte del usuario no especializado.
- Ser predictivo, de manera que pueda alertar sobre una evolución negativa.
- Ser comparable.
- Presentar un buen equilibrio coste-efectividad.

Los indicadores dependen de la noción de medio ambiente que se adopte; ésta se encuentra frecuentemente asociada a la noción de problema y por ello los indicadores tienden a evaluar la situación de los principales problemas ambientales. También se

desarrollan con frecuencia indicadores según el ámbito de aplicación, fundamentalmente los dirigidos a la evaluación de los resultados de las políticas ambientales y aquellos referidos a la integración de los aspectos ambientales en las políticas económicas y sectoriales. Los indicadores siguen diferentes marcos organizativos, que pueden ser causales, temáticos, sectoriales, ecosistémicos. Estos marcos no son en absoluto excluyentes, y de hecho se cruzan frecuentemente.

## 1.2. El panorama actual de indicadores ambientales

### Indicadores a nivel nacional

El Ministerio de Medio Ambiente publicó en 1996 la monografía “Indicadores ambientales. Una propuesta para España”, en la que se sientan las bases del Sistema Español de Indicadores Ambientales. La propuesta recoge la idea de medio ambiente como preocupación, adoptando el marco causal de la OCDE. Los indicadores se organizan por problemas identificados dentro de las distintas áreas temáticas abordadas: Atmósfera, Residuos, Medio Urbano y Recursos Naturales; éste último engloba a su vez los epígrafes de Biodiversidad, Bosques, Costas, Medio marino, Suelo y Agua. Para cada problema se proponen tres indicadores enmarcados dentro del modelo causal: indicadores de presión, de estado y de respuesta. Resulta en total un conjunto de 79 indicadores que pretenden sintetizar la situación del medio ambiente en España. Los indicadores referentes al clima dentro de este conjunto aparecen en la Tabla 1.

**Tabla 1. Indicadores climáticos dentro de la propuesta española.**

<i>Temas ambientales</i>	<i>Indicador de presión</i>	<i>Indicador de estado</i>	<i>Indicador de respuesta</i>
Dstrucción de la capa de ozono	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Producción/consumo de CFCs y halones</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Espesor de la capa de O<sub>3</sub></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recuperación de CFC<sub>s</sub> y halones</li> </ul>
Calentamiento global	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Emisiones de CO<sub>2</sub></li> <li>• Emisiones de CH<sub>4</sub></li> <li>• Índice de potencial de calentamiento global</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Concentración de GEIs</li> <li>• Cambio de la temperatura media de España</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Intensidad energética</li> <li>• % de participación de energías renovables en energía primaria</li> </ul>
Acidificación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Emisiones de SO<sub>2</sub></li> <li>• Emisiones de NO<sub>2</sub></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ph en precipitación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad de instalaciones de tratamiento de SO<sub>2</sub> en fuentes fijas</li> <li>• % del parque de vehículos rodados dotados de catalizador</li> </ul>
Contaminación fotoquímica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inmisión de NO<sub>2</sub> en medio urbano</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Concentración de O<sub>3</sub> troposférico en medio periurbano</li> </ul>	

<i>Temas ambientales</i>	<i>Indicador de presión</i>	<i>Indicador de estado</i>	<i>Indicador de respuesta</i>
Contaminación atmosférica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Emisiones de SO<sub>2</sub></li> <li>• Emisiones de NO<sub>2</sub></li> <li>• Turismos por habitante</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inmisiones de SO<sub>2</sub> respecto a valores legislados</li> <li>• Inmisiones de NO<sub>2</sub> respecto a valores legislados</li> <li>• Inmisiones de partículas respecto a valores legislados</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gastos per cápita en medio ambiente de ayuntamientos</li> </ul>
Pérdida de suelo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Superficie total incendiada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Suelos con grave riesgo de erosión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Repoblación hidrológica-forestal</li> <li>• Inversión en lucha contra la erosión</li> </ul>
Cantidad de agua	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Intensidad de uso del agua</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sobreexplotación de acuíferos</li> <li>• Superficie con balance hídrico deficitario</li> <li>• Recursos disponibles por habitante</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tasa de reducción de pérdidas en conducciones</li> <li>• Tasa de variación del precio del agua</li> </ul>

*Fuente: MIMAM: Indicadores ambientales. Una propuesta para España, 1996.*

### **Indicadores a nivel mundial**

La OCDE fue pionera en el desarrollo de indicadores ambientales; en 1989 puso en marcha su programa sobre indicadores ambientales y publicó el primer conjunto de indicadores ambientales en 1991[1]. La OCDE adoptó el modelo de Presión-Estado-Respuesta (PER) formulado por Friends y Raport en 1979 (Friends, A. y Raport, D. (1979): Towards a comprehensive framework for environment statistics: stress-response approach. Ottawa, Canadá: Statistics Canada). Este modelo, seguido por la mayoría de los sistemas de indicadores en la actualidad, está basado en un concepto de causalidad: las actividades humanas ejercen una presión sobre el medio ambiente, presión que puede provocar cambios en su estado, y finalmente la sociedad adopta respuestas para hacer frente a las consecuencias negativas de las presiones ejercidas. La OCDE ha estado trabajando sobre los indicadores ambientales durante la década de los 90, trabajo que se ha visto reflejado en la publicación y posteriores revisiones de la lista de indicadores ambientales (1991, 1994, 1998 y 2001). Además, este organismo ha desarrollado un conjunto de 10 indicadores ambientales clave (Key environmental indicators, 2001), una selección extraída de la lista de indicadores ambientales principales. Este conjunto reducido de indicadores pretende proporcionar una imagen general de los temas considerados como más relevantes desde el punto de vista medioambiental (ver Tabla 2) en los países de la OCDE, y así facilitar a la sociedad una información más adecuada sobre el estado del medio ambiente y el camino a seguir hacia un modelo de desarrollo sostenible.

**Tabla 2. Indicadores principales de la OCDE relacionados con temas climáticos.**

<i>Temas</i>	<i>Indicadores disponibles</i>	<i>Indicadores a medio plazo</i>
Cambio climático	Emisiones de CO <sub>2</sub>	Índice de emisiones de gases de efecto invernadero
Capa de ozono	Índices de consumo aparente de sustancias que agotan la capa de ozono	Índices de consumo aparente de sustancias que agotan la capa de ozono e índice total agregado
Calidad del aire	Emisiones de SO <sub>x</sub> y NO <sub>x</sub>	Exposición de la población a la contaminación del aire
Recursos hídricos	Intensidad de uso de los recursos hídricos	Intensidad de uso de los recursos hídricos y a nivel subnacional

*Fuente: OCDE (1991). Environmental indicators. A preliminary set. OCDE, París.*

Además del marco analítico causal, la OCDE distingue tres grandes grupos de indicadores en función de su uso: los indicadores que pretenden evaluar los resultados de la política ambiental, los que sirven de instrumento de integración de consideraciones ambientales en el diseño de las políticas sectoriales, y finalmente aquellos que pretenden integrar los aspectos ambientales en la política económica.

La Comisión sobre Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas ha elaborado igualmente un conjunto de indicadores de desarrollo sostenible, dentro de los cuales se encuentran una serie de indicadores ambientales relacionados con el clima (ver Tabla 3).

**Tabla 3. Indicadores ambientales del Programa de Desarrollo Sostenible de la ONU relacionados con el clima.**

<i>Categoría</i>	<i>Capítulo de la Agenda 21</i>	<i>Indicadores de Presión</i>	<i>Indicadores de Estado</i>	<i>Indicadores de Respuesta</i>
Agua	Recursos de agua dulce	Extracción de aguas subterráneas y de superficie como % de agua disponible Consumo doméstico de agua per cápita	Reservas de agua subterráneas	Densidad de las redes hidrológicas
Tierra	Planificación y ordenación del recurso suelo	Cambios en el uso del suelo	Cambios en el estado del recurso suelo	Ordenación de recursos naturales descentralizada a nivel local
	Lucha contra la desertificación	Población que vive por debajo	Índice nacional de precipitaciones	Indicadores de Respuesta

<i>Categoría</i>	<i>Capítulo de la Agenda 21</i>	<i>Indicadores de Presión</i>	<i>Indicadores de Estado</i>	<i>Indicadores de Respuesta</i>
	y la sequía	del umbral de pobreza en las zonas áridas	mensuales Índice de vegetación obtenido por teledetección Tierras afectadas por la desertificación	
Atmósfera	Protección de la atmósfera	Emisiones de gases de efecto invernadero Emisiones de óxidos de azufre Emisiones de óxidos de nitrógeno Consumo de sustancias que agotan capa O <sub>3</sub>	Concentraciones de contaminantes en el aire ambiente de las zonas urbanas	Gastos en medidas de reducción de la contaminación del aire

*Fuente: División de las Naciones Unidas para el Desarrollo Sostenible, 1999.*

### **Indicadores a nivel europeo**

La Unión Europea insistía, en el V Programa de Medio Ambiente, sobre la necesidad de suministrar regularmente estadísticas útiles para el medio ambiente mediante un Sistema Estadístico Europeo. En 1994, la Comisión publicó la Comunicación sobre “Directrices para la UE en materia de indicadores ambientales y contabilidad ecológica nacional”, con el objetivo de crear un Sistema Europeo de Indicadores Económicos y Ambientales que integrara los aspectos ambientales en otras políticas y sirviera como herramienta de información al público sobre los resultados económicos y la presión ambiental. A finales de 1998 se creó el Grupo de Expertos en Indicadores de la Comisión que, además de desarrollar los indicadores de integración en el sector económico, comenzó a desarrollar un conjunto de indicadores ambientales de cabecera sobre medio ambiente. El trabajo conjunto de la Comisión, la AEMA y EUROSTAT (Oficina Estadística de la Unión Europea), ha dado como resultado la publicación, a finales del año 2000, del documento “Headline Indicators for the European Union”, en el que se refleja la evolución del medio ambiente mediante la aplicación de una serie de 11 indicadores principales referentes a otros tantos temas ambientales considerados como los más relevantes en el contexto europeo. Estos temas están a su vez agrupados en cuatro áreas correspondientes a las prioridades ambientales establecidas en el VI Programa de Acción de Medio Ambiente (Cambio climático, naturaleza y biodiversidad, medio ambiente y salud humana y residuos y recursos). Al mismo tiempo se publicó el primer informe europeo basado en indicadores, Señales Medioambientales 2000, informe anual que nace con el objetivo principal de ofrecer una visión de la situación y tendencias del medio ambiente, así como del resultado de las políticas aplicadas. Desde entonces se han publicado dos ediciones más de este informe, la última, Environmental Signals 2002, en mayo de 2002. Los temas e indicadores que hacen referencia al clima en estos informes aparecen en la Tabla 4.



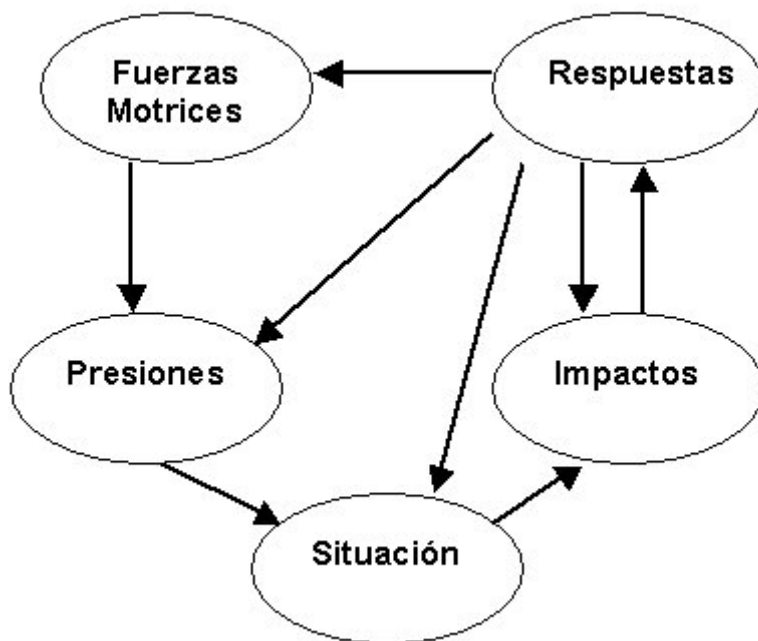
La AEMA sigue el modelo causal propuesto por la OCDE, aunque lo detalla más, de manera que los indicadores se dividen en cinco tipos, representados por las siglas DFPSIR (*Driving Forces – Pressures – State – Impacts – Responses*) (ver figura 1). La AEMA distingue a su vez cuatro grandes grupos de indicadores: indicadores descriptivos (en el que se incluyen todos los indicadores basados en el modelo DFPSIR), indicadores de resultado (comparan la situación real con una de referencia, como objetivos de políticas o niveles de sostenibilidad), indicadores de eficiencia (que ponen en relación distintos elementos de la cadena causal, como las presiones y la actividad humana) e indicadores de bienestar general (aún por desarrollar, y que se refieren a una magnitud de sostenibilidad total).

**Tabla 4. Temas y objetivos de los indicadores de los informes anuales de la AEMA.**

	<i>Señales Medioambientales 2000</i>	<i>Environmental Signals 2001</i>	<i>Environmental Signals 2002</i>
Cambio climático	Emisiones de gases de efecto invernadero Temperatura media	Emisiones de gases de efecto invernadero Temperatura media	Emisiones de gases de efecto invernadero Temperatura media
Agotamiento de la capa de ozono	Capa de ozono Sustancias que agotan la capa de ozono Radiación ultravioleta		
Contaminación atmosférica	Emisiones (gases acidificantes, precursores de ozono) Umbrales críticos (ozono, partículas) Exposición al ozono de bosques y cultivos Acidificación/eutrofización	Emisiones (gases acidificantes, precursores de ozono, partículas) Umbrales críticos (ozono, partículas) Acidificación/eutrofización	Emisiones (gases acidificantes, precursores de ozono, partículas) Umbrales críticos (ozono troposférico, SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> ) Exposición al ozono de bosques y cultivos
Agua (cantidad)	Índice de uso de agua Uso de agua por sector		Índice de uso de agua Uso de agua por sector
Suelos		Contaminación del suelo Recuperación del suelo	Compactación del suelo Apropiación del suelo Fragmentación del hábitat

Fuente: AEMA.

En cuanto a los indicadores de integración de los aspectos ambientales en las políticas sectorial y económica, el trabajo de la AEMA ha resultado en la publicación de informes periódicos sobre la integración del transporte y el medio ambiente en la Unión Europea (informes TERM), sobre el sector energético, el industrial, y el de la agricultura.



*Figura 1. Marco DFPSIR*  
*Fuente: AEMA.*

## **2. Los indicadores climáticos-ambientales y su aplicación en Andalucía**

### **2.1. Los indicadores climático-ambientales**

En el conjunto de los indicadores ambientales el clima en sentido estricto apenas es objeto de consideración. Sin embargo, el clima está muy presente en los sistemas de indicadores existentes en la actualidad, en epígrafes que aluden a áreas como "Atmósfera" o a problemas ambientales como "Cambio climático", "Contaminación del aire", "Agotamiento de la capa de ozono" y "Acidificación"; también está presente el clima de manera indirecta en otros indicadores que se engloban dentro de áreas como "Recursos hídricos" u otros problemas como "Erosión de suelos". De estos ejemplos, los tres primeros son sin duda los que aparecen de forma más generalizada en los sistemas de indicadores existentes, y para ellos existe un mayor consenso en cuanto a los indicadores utilizados. Evidentemente, estos problemas ambientales son los que revisten un carácter más global, lo que ha favorecido la multiplicación de los esfuerzos dedicados a su seguimiento y evaluación.

### **2.2. Propuesta de indicadores para la región andaluza**

#### **Características de la región**

Las características climáticas de la región andaluza hacen que ciertos problemas ambientales como el cambio climático, la sequía, la desertización o la erosión de suelos revistan un especial interés. Como hemos visto, algunos de estos problemas como el cambio climático o la contaminación atmosférica, por su carácter global (la contaminación atmosférica es de carácter local, pero tiene lugar en todos los países con tejido industrial), han propiciado el desarrollo de indicadores aceptados universalmente. Sin embargo, existen otros problemas que afectan particularmente a la región andaluza, especialmente la sequía, la desertización y la erosión de los suelos, los cuales son generalmente menos tratados en los sistemas de indicadores que hemos podido encontrar.

#### **Bases y organización del sistema de indicadores**

La anterior propuesta de indicadores climático-ambientales para Andalucía ha sido revisada y actualizada, tratando de seguir las líneas fundamentales trazadas por los organismos internacionales que han dedicado parte de sus esfuerzos al desarrollo de sistemas de indicadores ambientales, pero sin olvidar las particularidades de nuestra región, que nos llevan destacar ciertos aspectos por encima de otros. Esta propuesta va más allá de la mera descripción del estado del medio ambiente, adoptando el marco causal de indicadores de presión, de estado y de respuesta, así como indicadores evolutivos que reflejan los avances conseguidos por las políticas ambientales. La propuesta se basa en los mismos presupuestos de partida que la precedente, entendiendo el medio ambiente como el marco en el que se desenvuelve la sociedad, una sociedad que encuentra en el medio los recursos necesarios para su desarrollo y que debe hacer frente también a los riesgos que éste genera.

Entendiendo que el clima presenta una componente fundamentalmente aleatoria, cuyas tendencias subyacentes, en el caso de que existan, no pueden ser detectadas sin una serie larga de valores, y que los problemas climático-ambientales muestran una componente tendencial más marcada, hemos optado por presentar un bloque de indicadores sobre el estado del clima y otro de indicadores referidos a los principales problemas climático-ambientales que reflejen su evolución y sus tendencias en la región.

La organización se asienta pues sobre dos grandes bloques temáticos: el estado del clima, dentro del cual se distinguen los indicadores de recursos y los indicadores de riesgos, y los problemas climático-ambientales. La nueva propuesta persigue igualmente los objetivos de homogeneidad respecto a otros indicadores existentes a nivel internacional, de alta disponibilidad de los datos necesarios y de homogeneidad interna.

Los indicadores quedan pues organizados de la manera siguiente:

- **El estado del clima**
  - **Recursos climático-ambientales**
    - **Recursos hídricos**
      - Indicador nº 1: Total de precipitación registrado/Total pluviométrico normal
      - Indicador nº 2: Porcentaje de superficie con precipitación inferior a la normal
      - Indicador nº 3: Volumen embalsado/volumen embalsado normal
      - Indicador nº 4: Nº de días de lluvia/ Nº de días de lluvia normal
    - **Recursos energéticos**
      - Indicador nº 5: Radiación global en plano horizontal/ Radiación global en plano horizontal normal
      - Indicador nº 6: Velocidad media del viento/ Velocidad media del viento normal
      - Indicador nº 7: Horas totales de sol/ Horas totales de sol normal
      - Indicador nº 8: Grados-día vegetación/ Grados-día vegetación normal
      - Indicador nº 9: Duración del período de heladas/ Duración del período de heladas normal
  - **Riesgos climático-ambientales**
    - **Sequías**
      - Indicador nº 10: Índice de evapotranspiración medio/ Índice de evapotranspiración medio normal
      - Indicador nº 11: Índice estandarizado de sequía pluviométrica
      - Indicador nº 12: NDVI/ NDVI normal
      - Indicador nº 13: Índice de Palmer

- **Precipitaciones intensas**
  - Indicador nº 14: N° de días con precipitación >30 mm/ N° de días con precipitación >30 mm normal
  - Indicador nº 15: Período de retorno de la precipitación máxima diaria
- **Los problemas climático-ambientales**
  - **Reducción de la capa de ozono**
    - Indicador nº 16: Espesor medio de la capa de ozono/espesor medio normal
    - Indicador nº 17: Porcentaje de superficie bajo umbral crítico
  - **Acidificación**
    - Indicador nº 18: pH medio de la lluvia
    - Indicador nº 19: Porcentaje de observaciones con pH por debajo del umbral crítico de 5,5
  - **Desertización**
    - Indicador nº 20: Erosividad de la lluvia
  - **Cambio climático**
    - Indicador nº 21: Índice de calentamiento global
    - Indicador nº 22: Índice de calentamiento (temperaturas máximas)
    - Indicador nº 23: Índice de calentamiento (temperaturas mínimas)
    - Indicador nº 24: Emisión bruta total de gases de efecto invernadero (GEI)
    - Indicador nº 25: Emisión bruta de CO<sub>2</sub>
    - Indicador nº 26: Emisión bruta de CH<sub>4</sub>
    - Indicador nº 27: Emisión bruta de N<sub>2</sub>O
    - Indicador nº 28: Emisión bruta de HFC
    - Indicador nº 29: Emisión bruta de PFC
    - Indicador nº 30: Emisión bruta de SF<sub>6</sub>
    - Indicador nº 31: Emisión bruta de GEI en el sector de la energía
    - Indicador nº 32: Emisión bruta de GEI en el sector de la industria
    - Indicador nº 33: Emisión bruta de GEI en disolventes
    - Indicador nº 34: Emisión bruta de GEI en la agricultura
    - Indicador nº 35: Emisión bruta de GEI en residuos
    - Indicador nº 36: Emisión bruta total de GEI asociada a cambios en el uso del suelo
    - Indicador nº 37: Índice anual respecto a 1990 de emisión bruta total de GEI
    - Indicador nº 38: Índice anual respecto a 1990 de emisión bruta de CO<sub>2</sub>



- Indicador nº 39: Índice anual respecto a 1990 de emisión bruta de NH<sub>4</sub>
- Indicador nº 40: Índice anual respecto a 1990 de emisión bruta de N<sub>2</sub>O
- Indicador nº 41: Índice anual respecto a 1990 de emisión bruta de HFC
- Indicador nº 42: Índice anual respecto a 1990 de emisión bruta de PFC
- Indicador nº 43: Índice anual respecto a 1990 de emisión bruta de SF<sub>6</sub>
- Indicador nº 44: Índice anual respecto a 1990 de emisión bruta de GEI en el sector de la energía
- Indicador nº 45: Índice anual respecto a 1990 de emisión bruta de GEI en el sector de la industria
- Indicador nº 46: Índice anual respecto a 1990 de emisión bruta de GEI en disolventes
- Indicador nº 47: Índice anual respecto a 1990 de emisión bruta de GEI en agricultura
- Indicador nº 48: Índice anual respecto a 1990 de emisión bruta de GEI en residuos
- Indicador nº 49: Índice anual respecto a 1990 de emisión bruta total de GEI asociada a cambios en el uso del suelo
- Indicador nº 50: Porcentaje del consumo de energía procedente de fuentes renovables
  
- **Contaminación atmosférica**
  - Indicador nº 51: Inmisión de contaminantes (Global): % de días calificados como de calidad mala o muy mala
  - Indicador nº 52: Inmisión de ozono troposférico (O<sub>3</sub>): % de días calificados como de calidad mala o muy mala
  - Indicador nº 53: Inmisión de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>): % de días calificados como de calidad mala o muy mala
  - Indicador nº 54: Inmisión de óxidos de nitrógeno (NO<sub>2</sub>): % de días calificados como de calidad mala o muy mala
  - Indicador nº 55: Inmisión de partículas: % de días calificados como de calidad mala o muy mala
  - Indicador nº 56: Inmisión de monóxido de carbono (CO): % de días calificados como de calidad mala o muy mala

## 3. Los indicadores propuestos para la evaluación del estado del clima

### 3.1. Recursos climático-ambientales

Hemos considerado aquí los recursos que adquieren especial relevancia en Andalucía, bien por su importante desarrollo y sus enormes posibilidades para el futuro (es el caso de los recursos energéticos y helio-térmicos), bien por sus especiales problemas de gestión (recursos hídricos). De cualquier forma, todos ellos constituyen piezas clave para el futuro desarrollo de la región.

#### 3.1.1. Recursos hídricos

La dificultad de la gestión de los recursos hídricos en Andalucía viene dada por la gran variabilidad que presentan, derivada fundamentalmente de la variabilidad de las precipitaciones. Pero esta variabilidad no es tan sólo temporal, sino también espacial, y en estos dos aspectos radican los problemas de recursos hídricos de la región, ya que el agua precipitada por término medio en Andalucía es más bien abundante.

La cantidad de los recursos hídricos depende en primer lugar del balance hídrico de la región, que simplificando es resultado de la diferencia entre el volumen de agua precipitado y el volumen evaporado a través de la vegetación y del suelo. La variabilidad temporal y espacial de la evapotranspiración es sin embargo mucho más reducida que la de la precipitación, hasta el punto de poder afirmar que, de la variabilidad temporal del balance hídrico en un lugar dado, más de un 80 % es atribuible al comportamiento de las precipitaciones. Por esta razón, hemos optado por utilizar indicadores elaborados a partir del volumen de agua precipitado en Andalucía, que además son fáciles de obtener y manejar.

Por otro lado, un segundo elemento fundamental que determina el estado de los recursos hídricos es el consumo humano. Para integrar este aspecto hemos seleccionado un indicador referente al volumen de agua embalsado en la región.

#### **Indicador nº 1: Total de precipitación registrado/Total pluviométrico normal**

Definición: Es el cociente (multiplicado por 100) entre la precipitación registrada en Andalucía en el período considerado y la precipitación que se considera normal para ese mismo período. Cuando la precipitación observada es superior a la normal, el indicador vale más de 100, y cuando es inferior, vale menos de 100. Como volumen precipitado normal del período se recomienda utilizar la mediana (percentil 50) de la serie de observaciones 1961-1990 correspondiente a dicho período.

Unidades: Tanto por ciento.

Tipo de indicador: Indicador de estado.

Escala temporal: Se recomienda el cálculo a escala mensual, aunque se iría agregando desde los inicios del año hidrológico correspondiente. En ese sentido, el indicador del mes de septiembre de cada año sería el único indicador con carácter estrictamente mensual. En octubre se acumularían ya las precipitaciones recogidas en septiembre y octubre y se relacionarían con las precipitaciones normales de ese período bimensual; en noviembre se acumularían las precipitaciones de septiembre, octubre y noviembre, y así sucesivamente. Lógicamente, el indicador correspondiente al mes de agosto de un determinado año sería también el indicador aplicable a todo el año hidrológico.

Ámbito espacial: Se recomienda la realización del indicador como un promedio regional de los valores alcanzados en el conjunto del territorio andaluz. Para obtenerlo se calcularía una media ponderada de los valores de precipitación registrados en las distintas áreas de Andalucía según aparecen recogidas en la publicación decenal “Balance hídrico” del Instituto Nacional de Meteorología.

Disponibilidad de datos: Muy buena. Las precipitaciones registradas mensualmente en Andalucía se publican, ya espacializadas por medio de isoyetas en la publicación del INM que acabamos de citar.

Observaciones: El sentido de este indicador radica en ofrecer una medida de los aportes hídricos del período considerado en Andalucía, en relación con los aportes que se consideran normales para ese período. El empleo del valor normal o habitual como referente tiene aquí una especial significación en la medida en que son las condiciones normales de aporte de agua las que deben marcar las pautas a seguir en cuanto a la gestión de los recursos hídricos.

## **Indicador nº 2: Porcentaje de superficie con precipitación inferior a la normal**

Definición: Es el porcentaje que supone la superficie de Andalucía que registra una precipitación inferior a la normal del período, respecto a la superficie total de la región. Se deriva directamente del indicador anterior.

Unidades: Tanto por ciento.

Tipo de indicador: Indicador de estado.

Escala temporal: Se recomienda el cálculo del indicador a escala mensual, aunque luego podría agregarse a escala anual. En este caso habría que utilizar los años hidrológicos (septiembre-agosto).

Ámbito espacial: Regional.

Disponibilidad de datos: Muy buena. Las precipitaciones registradas mensualmente en Andalucía se publican, ya espacializadas por medio de isoyetas en la publicación del INM “Balance hídrico”



### **Indicador nº 3: Volumen embalsado/volumen embalsado normal**

Definición: Es el cociente (multiplicado por 100) entre el volumen de agua embalsado en el período considerado y el volumen que se considera normal para ese mismo período en el conjunto de los embalses ubicados en el territorio andaluz. Cuando el volumen embalsado es superior al normal, el indicador vale más de 100, y cuando es inferior, vale menos de 100. Como volumen embalsado normal del período se recomienda utilizar la mediana (percentil 50) de la serie de observaciones 1961-1990 correspondiente a dicho período.

Unidades: Tanto por ciento.

Tipo de indicador: Indicador de estado.

Escala temporal: Se recomienda el cálculo del indicador a escala mensual, aunque luego podría agregarse a escala anual. En este caso habría que utilizar los años hidrológicos (septiembre-agosto).

Ámbito espacial: Se recomienda la realización del indicador en cada uno de los embalses del territorio andaluz. Posteriormente, y mediante la media ponderada (en función de la capacidad de cada embalse) de los indicadores obtenidos en estos embalses, se obtendría un indicador medio para toda Andalucía.

Disponibilidad de datos: Muy buena. Los volúmenes embalsados mensualmente en los distintos embalses se encuentran disponibles en las respectivas Confederaciones Hidrográficas y son accesibles para la Consejería de Medio Ambiente.

Observaciones: El sentido de este indicador radica en ofrecer una medida de los aportes hídricos del período considerado en Andalucía, en relación con los aportes que se consideran normales para ese período. El empleo del valor normal o habitual como referente tiene aquí una especial significación en la medida en que son las condiciones normales de aporte de agua las que deben marcar las pautas a seguir en cuanto a la gestión de los recursos hídricos.

### **Indicador nº 4: N° de días de lluvia/ N° de días de lluvia normal**

El número de días de lluvia, cuando disminuye, puede venir acompañando de una disminución paralela de los totales de precipitación, en cuyo caso puede ser indicativo de un proceso de desertización, o aparecer aisladamente y con totales pluviométricos estables, lo que implicaría un aumento de las intensidades de la precipitación y, consecuentemente, del riesgo de erosión.

Definición: Es el cociente (multiplicado por 100) entre el número de días de lluvia registrado en el período considerado y el que se considera normal para ese mismo período. Cuando número de días de lluvia observado es superior a la normal, el indicador vale más de 100, y cuando es inferior, vale menos de 100. Como número normal de días de lluvia del período se recomienda utilizar la mediana (percentil 50) de la serie de observaciones 1961-1990 correspondiente a dicho período.

Unidades: Tanto por ciento.

Tipo de indicador: Indicador de estado.

Escala temporal: Se recomienda el cálculo del indicador a escala mensual, aunque luego podría agregarse a escala anual.

Ámbito espacial: Se recomienda la realización del indicador en observatorios individuales representativos de los distintos ámbitos que componen el territorio andaluz. Posteriormente, y mediante la media aritmética de los indicadores obtenidos en estos observatorios individuales, se obtendría un indicador medio para toda Andalucía.

Disponibilidad de datos: Muy buena. Los totales mensuales de precipitación se encuentran disponibles en el INM y buena parte de ellos se encuentran ya en el banco de datos de la Consejería de Medio Ambiente. Sí sería necesario seleccionar adecuadamente los observatorios que se van a utilizar para este fin. Se recomienda utilizar los mismos observatorios ya seleccionados para evaluar los totales pluviométricos y, por consiguiente, seguir los mismos criterios.

Observaciones: El sentido de este indicador radica en aportar una medida de la posible disminución experimentada por el número de días de lluvia respecto a los valores considerados normales. Su utilidad es sólo aproximada, aunque va aumentando a medida que el tiempo pasa. Esto es así porque la variabilidad natural de este parámetro –como la de los restantes elementos climáticos– enmascara las tendencias subyacentes, las cuales sólo se ponen de manifiesto en una serie larga de valores, como ya hemos comentado con anterioridad. De cualquier forma, su puesta de manifiesto es útil en la medida en que suponen un importante estrés para el medio y en consecuencia pueden contribuir en mayor o menor medida a los procesos de desertización.

### **3.1.2. Recursos energéticos y helio-térmicos**

Los principales recursos de la región desde el punto de vista energético son los derivados del uso de la energía solar y la eólica, dos energías renovables y que presentan un gran potencial en Andalucía. La disponibilidad de los datos para la evaluación del estado de estos recursos es relativamente buena, y en todo caso tiende a mejorar con el paso del tiempo.

Los recursos helio-térmicos son los derivados del comportamiento de la insolación y de la temperatura y constituyen uno de los aspectos más positivos del balance medioambiental de Andalucía.

#### **Indicador nº 5: Radiación global en plano horizontal/ Radiación global en plano horizontal normal**

Definición: Es el cociente (multiplicado por 100) entre el total de radiación solar global registrado en el período considerado y el total que se considera normal para ese mismo período. Cuando la radiación observada es superior a la normal, el indicador vale más de 100, y cuando es inferior, vale menos de 100. Como radiación global normal del

período se recomienda utilizar la mediana (percentil 50) de la serie de observaciones 1961-1990 correspondiente a dicho período.

Unidades: Tanto por ciento.

Tipo de indicador: Indicador de estado.

Escala temporal: Se recomienda el cálculo del indicador a escala mensual, aunque luego podría agregarse a escala anual.

Ámbito espacial: Se recomienda la realización del indicador en observatorios individuales representativos de los distintos ámbitos que componen el territorio andaluz. Posteriormente, y mediante la media aritmética de los indicadores obtenidos en estos observatorios individuales, se obtendría un indicador medio para toda Andalucía.

Disponibilidad de datos: La disponibilidad es adecuada, pero los datos están dispersos en diferentes organismos, tanto públicos como privados. Aún así, buena parte de estos datos son medidos por las estaciones automáticas de la propia red de la CMA, la cual podría constituir un primer embrión del que partiera la elaboración de los indicadores. Por otra parte, es un parámetro cuya observación va a aumentar sin ninguna duda, con lo cual queda garantizada la continuidad del indicador. El mayor problema podría presentarse a la hora de encontrar series de observación suficientemente largas como para obtener los valores normales con suficientes garantías de fiabilidad, pero ese es un problema que tiende a desaparecer con el paso del tiempo.

Sí sería necesario seleccionar adecuadamente los observatorios que van a utilizarse para este fin. Se recomiendan los siguientes criterios de selección:

- Una buena distribución sobre el territorio andaluz.
- Series tan largas como sea posible, a fin de poder establecer las condiciones “normales” del observatorio con suficientes garantías y en un período de observaciones simultáneo.
- Series con observaciones fiables y rigurosas (en este sentido, existen ya multitud de organismos que se ocupan de la observación y medición con toda minuciosidad).
- Series que tengan ciertas garantías de continuidad, a fin de que no se interrumpan las series de indicadores una vez iniciadas. En este sentido sería interesante que la CMA, al igual que ya dispone de observatorios en los núcleos urbanos e industriales para el seguimiento de la contaminación atmosférica o, en algunos parques naturales, para el seguimiento de los incendios forestales, se planteara incluir entre sus prioridades también a la climatología, de modo que pudiera garantizar el futuro de los proyectos que iniciara en este terreno. Dado que la infraestructura de observatorios ya existe, su operatividad con fines climáticos sólo exigiría un mínimo esfuerzo de adaptación a estos temas.

#### **Indicador nº 6: Velocidad media del viento/ Velocidad media del viento normal**

Definición: Es el cociente (multiplicado por 100) entre la velocidad media del viento registrada en el período considerado y la velocidad que se considera normal para ese mismo período. Cuando la velocidad observada es superior a la normal, el indicador vale más de 100, y cuando es inferior, vale menos de 100. Como velocidad normal del

período se recomienda utilizar la mediana (percentil 50) de la serie de observaciones 1961-1990 correspondiente a dicho período.

Unidades: Tanto por ciento.

Tipo de indicador: Indicador de estado.

Escala temporal: Se recomienda el cálculo del indicador a escala mensual, aunque luego podría agregarse a escala anual.

Ámbito espacial: Se recomienda la realización del indicador en observatorios individuales representativos de los distintos ámbitos que componen el territorio andaluz. Posteriormente, y mediante la media aritmética de los indicadores obtenidos en estos observatorios individuales, se obtendría un indicador medio para toda Andalucía.

Disponibilidad de datos: Buena. Los valores mensuales de velocidad del viento se encuentran ampliamente disponibles en las estaciones completas del INM, las cuales, por otro lado, son las más rigurosas de las que componen la red del Instituto; además, todas las estaciones automáticas de la CMA miden este parámetro; por último, existen en la actualidad numerosos organismos públicos y privados que se ocupan de su observación con fines de su aprovechamiento energético.

Sí sería necesario seleccionar adecuadamente los observatorios que van a utilizarse para este fin. Se recomiendan los siguientes criterios de selección:

- Una buena distribución sobre el territorio andaluz.
- Series suficientemente largas de observaciones (a ser posible 30 años) para poder establecer las condiciones “normales” del observatorio con suficientes garantías y en un período de observaciones simultáneo.
- Series con observaciones fiables y rigurosas.
- Series que tengan ciertas garantías de continuidad, a fin de que no se interrumpan las series de indicadores una vez iniciadas. En este sentido sería interesante que la CMA, al igual que ya dispone de observatorios en los núcleos urbanos e industriales para el seguimiento de la contaminación atmosférica o, en algunos parques naturales, para el seguimiento de los incendios forestales, se planteara incluir entre sus prioridades también a la climatología, de modo que pudiera garantizar el futuro de los proyectos que iniciara en este terreno. Dado que la infraestructura de observatorios ya existe, su operatividad con fines climáticos sólo exigiría un mínimo esfuerzo de adaptación a estos temas.

### **Indicador nº 7: Horas totales de sol/ Horas totales de sol normal**

Definición: Es el cociente (multiplicado por 100) entre el total de horas de sol registrado en el período considerado y el total que se considera normal para ese período. Cuando la insolación observada es superior a la normal, el indicador vale más de 100, y cuando es inferior, vale menos de 100. Como insolación normal del período se recomienda utilizar la mediana (percentil 50) de la serie de observaciones 1961-1990 correspondiente a dicho período.

Unidades: Tanto por ciento.

Tipo de indicador: Indicador de estado.

Escala temporal: Se recomienda el cálculo del indicador a escala mensual, aunque luego podría agregarse a escala anual.

Ámbito espacial: Se recomienda la realización del indicador en observatorios individuales representativos de los distintos ámbitos que componen el territorio andaluz. Posteriormente, y mediante la media aritmética de los indicadores obtenidos en estos observatorios individuales, se obtendría un indicador medio para toda Andalucía.

Disponibilidad de datos: Muy buena. Los totales mensuales de insolación se encuentran ampliamente disponibles en las estaciones completas del INM, las cuales, por otro lado, son las más rigurosas y fiables. Los datos, además, son publicados regularmente por el INM en sus Calendarios Meteorológicos anuales. Tales estaciones podrían constituir en principio la red utilizada para la elaboración de los indicadores, dado que reúnen todos los requisitos que cabría exigir a este tipo de red. Con todo, sería conveniente que en los observatorios de la CMA se contemplara adecuadamente este parámetro con el fin de incrementar la densidad de la red de observaciones y de garantizar su continuidad.

#### **Indicador nº 8: Grados-día vegetación/ Grados-día vegetación normal**

Los grados-día para la vegetación se definen como la suma, durante un período determinado, de las temperaturas diarias superiores a 6 °C (que se considera el umbral a partir del cual la vida vegetativa se desarrolla sin limitaciones térmicas). El comportamiento de la vegetación, tanto en su crecimiento como en el desarrollo de sus diferentes fases fenológicas, depende estrechamente del comportamiento de este parámetro. Los grados-día para la vegetación se obtienen mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

$GDV = \sum (t_d - 6)$ , donde:

$t_d$  es la temperatura media diaria

Cuando sólo se dispone de datos mensuales, el resultado puede aproximarse mediante la expresión:

$GDV = \sum (t_m - 6) \cdot 30$ , donde:

$t_m$  es la temperatura media mensual.

Definición: Es el cociente (multiplicado por 100) entre el total de grados-día para la vegetación registrado en el período considerado y el total que se considera normal para ese mismo período. Cuando el valor observado es superior al normal, el indicador vale más de 100, y cuando es inferior, vale menos de 100. Como valor normal se recomienda utilizar la mediana (percentil 50) de la serie de observaciones 1961-1990 correspondiente al período considerado.

Unidades: Tanto por ciento.

Tipo de indicador: Indicador de estado.

Escala temporal: Se recomienda el cálculo del indicador a escala mensual, aunque luego podría agregarse a escala anual. En este caso se recomienda la utilización del año hidrológico o agrícola (septiembre-agosto).

Ámbito espacial: Se recomienda la realización del indicador en observatorios individuales representativos de los distintos ámbitos que componen el territorio andaluz. Posteriormente, y mediante la media aritmética de los indicadores obtenidos en estos observatorios individuales, se obtendría un indicador medio para toda Andalucía.

Disponibilidad de datos: Muy buena. Las temperaturas medias mensuales se encuentran ampliamente disponibles en el INM, y buena parte de ellas se encuentran ya en el banco de datos de la CMA. Si sería necesario seleccionar adecuadamente los observatorios que van a utilizarse para este fin. Se recomiendan los siguientes criterios de selección:

- Una buena distribución sobre el territorio andaluz. En este caso habría que procurar la utilización de observatorios situados a diferentes niveles altitudinales y con diversos grados de continentalidad, dado que las temperaturas, elemento protagonista del indicador, dependen estrechamente de ambos factores.
- Series suficientemente largas de observaciones (a ser posible 30 años) para poder establecer las condiciones “normales” del observatorio con suficientes garantías y en un período de observaciones simultáneo.
- Series con observaciones fiables y rigurosas (las estaciones sinópticas y de primer orden del INM son las que ofrecen mejores condiciones en este sentido).
- Series que tengan ciertas garantías de continuidad, a fin de que no se interrumpan las series de indicadores una vez iniciadas. En este sentido sería interesante que la CMA, al igual que ya dispone de observatorios en los núcleos urbanos e industriales para el seguimiento de la contaminación atmosférica o, en algunos parques naturales, para el seguimiento de los incendios forestales, se planteara incluir entre sus prioridades también a la climatología, de modo que pudiera garantizar el futuro de los proyectos que iniciara en este terreno. Dado que la infraestructura de observatorios ya existe, su operatividad con fines climáticos sólo exigiría un mínimo esfuerzo de adaptación a estos temas.

### **Indicador nº 9: Duración del período de heladas/ Duración del período de heladas normal**

El período de heladas es el número de días transcurridos entre la primera helada de otoño y la última de primavera del año siguiente. El comportamiento de la vegetación depende estrechamente de este parámetro, sobre todo en las especies muy sensibles a las heladas.

Definición: Es el cociente (multiplicado por 100) entre el período de heladas registrado en el año considerado y el período que se considera normal. Cuando el período de heladas observado es superior al normal, el indicador vale más de 100, y cuando es inferior, vale menos de 100. Como período de heladas normal se recomienda utilizar la mediana (percentil 50) de la serie de observaciones 1961-1990 correspondiente al período considerado.

Unidades: Tanto por ciento.

Tipo de indicador: Indicador de estado.

Escala temporal: Sólo puede realizarse a escala anual, por definición. En este caso es obligado el empleo del año hidrológico o agrícola.

Ámbito espacial: Se recomienda la realización del indicador en observatorios individuales representativos de los distintos ámbitos que componen el territorio andaluz. Posteriormente, y mediante la media aritmética de los indicadores obtenidos en estos observatorios individuales, se obtendría un indicador medio para toda Andalucía.

Disponibilidad de datos: Muy buena. Los días de helada se encuentran ampliamente disponibles en el INM, que mide este parámetro en sus estaciones completas, las cuales, por otro lado, son las más rigurosas y fiables. Los datos, además, son publicados regularmente por el INM en sus Calendarios Meteorológicos anuales. Con todo, sería conveniente que en los observatorios de la CMA se contemplara adecuadamente este parámetro a fin de incrementar la densidad de la red de observaciones y de garantizar su continuidad. Sí sería necesario seleccionar adecuadamente los observatorios que van a utilizarse para este fin. Se recomiendan los siguientes criterios de selección:

- Una buena distribución sobre el territorio andaluz. En este caso habría que procurar la utilización de observatorios situados a diferentes niveles altitudinales y con diversos grados de continentalidad, dado que las temperaturas, elemento protagonista del indicador, dependen estrechamente de ambos factores. Aquí podría haber algunas dificultades para encontrar observatorios en ciertas áreas, dado que los datos termométricos diarios no son excesivamente abundantes.
- Series suficientemente largas de observaciones (a ser posible 30 años) para poder establecer las condiciones “normales” del observatorio con suficientes garantías y en un período de observaciones simultáneo.
- Series con observaciones fiables y rigurosas (las estaciones sinópticas y de primer orden del INM son las que ofrecen mejores condiciones en este sentido).
- Series que tengan ciertas garantías de continuidad, a fin de que no se interrumpen las series de indicadores una vez iniciadas. En este sentido sería interesante que la CMA, al igual que ya dispone de observatorios en los núcleos urbanos e industriales para el seguimiento de la contaminación atmosférica o, en algunos parques naturales, para el seguimiento de los incendios forestales, se planteara incluir entre sus prioridades también a la climatología, de modo que pudiera garantizar el futuro de los proyectos que iniciara en este terreno. Dado que la infraestructura de observatorios ya existe, su operatividad con fines climáticos sólo exigiría un mínimo esfuerzo de adaptación a estos temas.

### **3.2. Riesgos climático-ambientales**

Entre los múltiples riesgos climáticos que pueden tener lugar en la región andaluza, hemos seleccionado dos, las sequías y las precipitaciones intensas, debido a las evidentes repercusiones ambientales que ambos tienen sobre la región.

### 3.2.1. Sequías

Las sequías constituyen un riesgo de primera magnitud en Andalucía y sus impactos ambientales son evidentes por sus repercusiones y conexiones con todas las envolturas planetarias: las aguas, el suelo, la vegetación, la fauna, etc.

#### **Indicador nº 10: Índice de evapotranspiración medio/ Índice de evapotranspiración medio normal**

El índice de evapotranspiración es una de las medidas más sintéticas que existen para expresar el grado de sequía experimentado por un lugar dado, especialmente en lo concerniente a la sequía edáfica, es decir, aquella que va a afectar al desarrollo de la vegetación. Se elabora a partir de la comparación entre la evapotranspiración potencial (ETP), que es la evapotranspiración máxima realizable por el conjunto planta-suelo en el supuesto de que el único factor limitante fuera la energía necesaria para realizar el proceso (es decir, cuando no hubiera ninguna limitación hídrica), y la evapotranspiración real (ETR), que es la pérdida de agua realmente experimentada por el conjunto agua-suelo. Cuando el aprovisionamiento de agua del suelo es adecuado,  $ETR = ETP$ ; cuando hay insuficiencia de agua,  $ETR < ETP$ . En consecuencia, la diferencia entre ambas magnitudes expresa la verdadera falta de agua al nivel de la vegetación y el cociente entre ambos parámetros, es decir, el índice de evapotranspiración, representa una buena medida de la sequía. El índice responde pues a la expresión:

$$I.E. = ETR/ETP$$

Los índices inferiores a la unidad son expresivos de condiciones de déficit de agua, y los superiores a la unidad, de condiciones satisfactorias o incluso excedentarias.

**Definición:** Es el cociente (multiplicado por 100) entre el índice de evapotranspiración registrado en el período considerado y el índice de evapotranspiración que se considera normal para ese mismo período. Cuando el valor observado es superior al normal, el indicador vale más de 100, y cuando es inferior, vale menos de 100. Como índice de evapotranspiración normal se recomienda utilizar la mediana (percentil 50) de la serie de observaciones 1961-1990 correspondiente al período considerado.

**Unidades:** Tanto por ciento.

**Tipo de indicador:** Indicador de estado.

**Escala temporal:** Se recomienda su elaboración a escala mensual y su posterior agregación a la escala anual mediante la media aritmética de los índices mensuales. Debe utilizarse el año hidrológico y no el civil.

**Ámbito espacial:** Se recomienda la realización del indicador en observatorios individuales representativos de los distintos ámbitos que componen el territorio andaluz. Posteriormente, y mediante la media aritmética de los indicadores obtenidos en estos observatorios individuales, se obtendría un indicador medio para toda Andalucía.

**Disponibilidad de datos:** Depende del método que se utilice en el cálculo de la evapotranspiración potencial. En el caso de utilizar formulaciones energéticas tales



como la de Penman o la de Penman-Monteith, que son de una calidad impecable, la disponibilidad de datos sería escasa. En caso de utilizar formulaciones empíricas como la de Thornthwaite, menos exigentes en parámetros de entrada, los resultados serían menos precisos, pero la disponibilidad de datos aumentaría mucho, dado que esta fórmula sólo requiere el empleo de la temperatura media mensual y la latitud del lugar. Por otro lado, el INM realiza y publica a escala decenal el cálculo de la evapotranspiración potencial en todas las estaciones sinópticas del territorio español (de las cuales siete se encuentran en Andalucía), con lo cual podrían utilizarse directamente estos cálculos. Dado que la pretensión de este indicador no es la de evaluar con toda precisión la evapotranspiración registrada en el período y lugar considerados, sino la de establecer en términos relativos el grado de déficit hídrico experimentado, pensamos que podría recurrirse a esta fuente, al menos en la fase inicial, a pesar de no ser la más precisa de las posibles. Más adelante cabría pensar en la posibilidad de desarrollar formulaciones más precisas, usando para ello los datos de viento, humedad y radiación solar procedentes de las estaciones automáticas, cada vez con mayor implantación en el territorio andaluz. También podría recurrirse a los cálculos efectuados en este sentido en algunos de los proyectos desarrollados por la CMA, como el proyecto HYDRE, o incluso a la evaluación de la evapotranspiración a partir de los datos suministrados por la teledetección, si bien esto último exigiría algunos estudios previos.

### **Indicador nº 11: Índice estandarizado de sequía pluviométrica**

Definición: El índice estandarizado de sequía pluviométrica se calcula a partir de las precipitaciones mensuales en tres etapas sucesivas. En la primera de ellas se calcula la anomalía pluviométrica de cada uno de los meses de la serie, a partir de la expresión:  $AP_i = P_i - PMED$ , donde:

$AP_i$  = Anomalía pluviométrica mensual.

$P_i$  = Precipitación mensual

$PMED$  = Precipitación mediana del mes.

En la segunda fase se calculan las anomalías pluviométricas acumuladas, desde el primer mes de la serie. En el momento en que se encuentra una anomalía acumulada negativa se iniciaría una secuencia seca, que concluiría con la aparición de una anomalía acumulada positiva, dando paso a una secuencia excedentaria en agua; durante esta secuencia excedentaria, las anomalías siguen acumulándose hasta que aparezca de nuevo una anomalía pluviométrica negativa, momento en que se iniciaría una nueva secuencia seca, que se obtiene por el mismo método, recomenzando el cálculo de las acumulaciones a partir de ese valor negativo de anomalía pluviométrica. En consecuencia, el cálculo de esta segunda fase se resume de la forma siguiente:  $APA_i = \sum AP_i$

Desde  $i = 1$  hasta  $AP_i < 0$  y  $APA_{i-1} = 0$ , donde :

$APA_i$  = Anomalía pluviométrica acumulada del mes.

Por último, en la tercera fase se estandarizarían estas anomalías acumuladas mediante su conversión en puntuaciones  $z$ :  $ZAPA_i = (APA_i - APA) / sAPA$ , donde:

$ZAPA_i$  = Anomalía pluviométrica acumulada estandarizada del mes.

APA = Valor medio de las anomalías pluviométricas acumuladas de todos los meses de la serie.

sAPA = Desviación típica de las anomalías pluviométricas acumuladas de todos los meses de la serie.

El proceso de estandarización de las anomalías pluviométricas acumuladas se facilita porque éstas se ajustan a una curva normal y, una vez efectuado, tiene una ventaja doble: por un lado, la obtención de valores universalmente válidos y comparables para diferentes observatorios y, por otro lado, la expresión de estos valores en términos de probabilidad de ocurrencia de las anomalías, dado que es bien conocido que en la curva normal cada valor de  $z$  es expresivo de un determinado valor de probabilidad.

Unidades: Puntuaciones  $z$ .

Tipo de indicador: Indicador dinámico de estado.

Escala temporal: Por definición, el índice se calcula a escala mensual, pero como el índice se va acumulando en el tiempo, no es necesario hacer ninguna agregación anual. En todo caso podría tomarse el valor del índice en el último mes del año hidrológico. También podría obtenerse la intensidad de cada secuencia seca mediante la suma de los valores de cada uno de los meses que participan de ella.

Ámbito espacial: Se recomienda realizar el índice por cuencas hidrográficas, a partir del promedio de precipitaciones registrado en cada cuenca.

Disponibilidad de datos: Muy buena. Los totales mensuales de precipitación se encuentran disponibles en el INM y buena parte de ellos se encuentran ya en el banco de datos de la Consejería de Medio Ambiente. Sí sería importante seleccionar adecuadamente los observatorios que van a utilizarse para calcular el índice, siguiendo los criterios comentados en anteriores epígrafes sobre distribución territorial de los observatorios, duración de las series, fiabilidad de los datos, etc.

### **Indicador nº 12: NDVI/ NDVI normal**

El NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) se obtiene a partir de las imágenes del satélite NOAA-AVHRR y refleja el estrés hídrico experimentado por la vegetación, lo que lo convierte en un buen instrumento para evaluar el grado de sequía edáfica experimentado por la región.

Definición: Es el cociente (multiplicado por 100) entre el NDVI registrado en el período considerado y el NDVI que se considera normal para ese mismo período. Cuando el NDVI observado es superior al normal, el indicador vale más de 100, y cuando es inferior, vale menos de 100. Como NDVI normal del período se recomienda utilizar la mediana (percentil 50) de la serie de observaciones más larga de la que se disponga.

Unidades: Tanto por ciento.

Tipo de indicador: Indicador dinámico de estado.

Escala temporal: Se recomienda su elaboración a escala mensual, aunque luego se realice la agregación a escala anual mediante la media aritmética de los valores mensuales obtenidos.

Ámbito espacial: Las imágenes ofrecen el valor del NDVI para todo el territorio andaluz con una resolución lo suficientemente detallada como para realizar un seguimiento minucioso del comportamiento espacial del estrés hídrico. Para su agregación a escala regional proponemos dos métodos complementarios:

- Media aritmética de los valores del indicador en cada uno de los píxeles que componen el territorio andaluz.
  - Porcentaje de la superficie regional con indicadores inferiores a la unidad.
- Disponibilidad de datos y observaciones: Muy buena. La CMA realiza en rutina el seguimiento del NDVI desde 1991, con lo cual los datos están plenamente disponibles. La mayor dificultad surge a la hora de establecer los valores normales del NDVI para los distintos meses del año, dado que la serie de observaciones se compone sólo de 12 años, caracterizados además muchos de ellos por un comportamiento pluviométrico muy extremo. De cualquier forma, la serie ya permite obtener una primera aproximación del comportamiento “normal”, y éste se irá perfeccionando a medida que la serie de valores vaya aumentando.

### **Indicador nº 13: Índice de Palmer**

El índice de Palmer es una formulación que pretende evaluar el grado de sequía experimentado por un determinado lugar en un tiempo dado, y que tiene validez universal (puede utilizarse en todos los medios geográficos) y es aplicable al análisis, tanto de la sequía edáfica como de la sequía hidrológica. Su carácter de índice determina que en él no introduzcamos ningún cociente ni valor de referencia, pues el propio índice los lleva incluidos. Por lo demás, el índice es tan complejo en su formulación que no la detallaremos aquí; nos limitaremos a remitir a dos referencias en las cuales se puede encontrar abundante información en este sentido:

- PALMER (1965): Meteorological drought, U.S. Weather Bureau, Washington D.C., Research Paper nº 45.
- PITA (1995): Las sequías: análisis y tratamiento, Sevilla, Junta de Andalucía, Consejería de Medio Ambiente.

Definición: El propio índice, que oscila entre los valores -4 y +4, que establece las categorías que aparecen reflejadas en la Tabla 5.

Unidades: Puntuaciones z.

Tipo de indicador: Indicador de estado.

Escala temporal: Se recomienda su realización a escala mensual. Además, como el índice se va acumulando sucesivamente en el tiempo, y va dando cuenta del grado de sequía que en cada caso se experimenta, no es necesario hacer ninguna agregación a nivel anual. En caso de querer hacerla se podría utilizar el valor del índice en el último mes del año hidrológico.

Ámbito espacial: Se recomienda la realización del indicador en observatorios individuales representativos de los distintos ámbitos que componen el territorio andaluz. Posteriormente, y mediante la media aritmética de los indicadores obtenidos en estos observatorios individuales, se obtendría un indicador medio para toda Andalucía. También se podría calcular el porcentaje de observatorios con índices inferiores a -1 (comienzo de la sequía suave), en relación con el total de observatorios analizados.

**Tabla 5. Categorías de sequía establecidas por el índice de Palmer.**

<i>Valores del índice</i>	<i>Categorías</i>
mayor a 4	Secuencia húmeda extrema
3 a 3,99	Secuencia muy húmeda
2 a 2,99	Secuencia húmeda moderada
1 a 1,99	Secuencia húmeda suave
0,5 a 0,99	Secuencia húmeda incipiente
0,49 a -0,49	Condiciones normales
-0,5 a -0,99	Sequía incipiente
-1 a -1,99	Sequía suave
-2 a -2,99	Sequía moderada
-3 a -3,99	Sequía severa
menor o igual a -4	Sequía extrema

Fuente: Palmer (1965): Meteorological drought.

Disponibilidad de datos y observaciones: La elaboración del índice requiere calcular el balance hídrico del lugar y, en consecuencia, disponer de datos de precipitación, evapotranspiración potencial y escurrimiento. Si la evapotranspiración potencial se quiere calcular cuidadosamente, exigiría además datos de humedad relativa, radiación solar y velocidad del viento. La obtención de la información no sería pues sencilla, pero se podría obtener en las estaciones completas del INM y en las automáticas del propio INM, de la CMA o de cualquiera de los otros organismos que disponen de ellas. Sí sería necesario seleccionar adecuadamente los observatorios que van a utilizarse para este fin. Se recomiendan los siguientes criterios de selección:

- Una buena distribución sobre el territorio andaluz.
- Series suficientemente largas de observaciones (a ser posible 30 años) para poder establecer las condiciones “normales” del observatorio con suficientes garantías y en un período de observaciones simultáneo.
- Series con observaciones fiables y rigurosas.
- Series que tengan ciertas garantías de continuidad, a fin de que no se interrumpen las series de indicadores una vez iniciadas. En este sentido sería interesante que la CMA, al igual que ya dispone de observatorios en los núcleos urbanos e industriales para el seguimiento de la contaminación atmosférica o, en algunos parques naturales, para el seguimiento de los incendios forestales, se planteara incluir entre sus prioridades también a la climatología, de modo que pudiera garantizar el futuro de los proyectos que iniciara en este terreno. Dado que la infraestructura de observatorios ya existe, su operatividad con fines climáticos sólo exigiría un mínimo esfuerzo de adaptación a estos temas.

El índice es de una extraordinaria complejidad, pero su gran utilidad y la importancia de las sequías en la región merecerían el esfuerzo de su realización

### 3.2.2. Precipitaciones intensas

Las lluvias de especial intensidad adquieren su carácter de riesgo climático-ambiental por su importante papel en la génesis de las inundaciones y por su exacerbación de la erosión hídrica, ambos dotados de una fuerte peligrosidad en Andalucía.

#### **Indicador n° 14: N° de días con precipitación >30 mm/ N° de días con precipitación >30 mm normal**

Los valores de precipitación diaria superior a 30 mm. denotan ya posibles situaciones de fuerte intensidad de la precipitación. Se trata, además, de un umbral tradicionalmente considerado como tal por parte del INM y disponible en todas las estaciones pluviométricas del mismo. Por eso nos ha parecido oportuna su inclusión como indicador.

Definición: Es el cociente (multiplicado por 100) entre el número de días con  $P > 30$  mm. registrado en el período considerado y el que se considera normal para ese período. Cuando el número de días con  $P > 30$  mm. observado es superior al normal, el indicador vale más de 100, y cuando es inferior, vale menos de 100. Como número normal de días con  $P > 30$  mm. del período se recomienda utilizar la mediana (percentil 50) de la serie de observaciones 1961-1990 correspondiente a dicho período.

Unidades: Tanto por ciento.

Tipo de indicador: Indicador de estado.

Escala temporal: Se recomienda el cálculo del indicador a escala mensual, aunque luego podría agregarse a escala anual.

Ámbito espacial: Se recomienda la realización del indicador en observatorios individuales representativos de los distintos ámbitos que componen el territorio andaluz. Posteriormente, y mediante la media aritmética de los indicadores obtenidos en estos observatorios individuales, se obtendría un indicador medio para toda Andalucía.

Disponibilidad de datos: Muy buena. Todas las estaciones pluviométricas con información diaria pueden ofrecer este tipo de datos. Además, en los resúmenes mensuales de estas estaciones suele aparecer siempre este parámetro. Si sería necesario seleccionar adecuadamente los observatorios que van a utilizarse para este fin. Se recomienda utilizar los mismos observatorios ya seleccionados para evaluar otros parámetros ligados a la pluviometría y, por consiguiente, seguir los mismos criterios.

#### **Indicador n° 15: Período de retorno de la precipitación máxima diaria**

Definición: Se entiende por período de retorno el inverso de la probabilidad de ocurrencia de un determinado fenómeno, expresada ésta en tanto por uno. En este caso,

el fenómeno cuyo período de retorno vamos a evaluar sería la precipitación máxima diaria registrada a lo largo de un año y lugar determinados.

Los valores de precipitación máxima diaria se analizan mediante su ajuste a curvas expresivas de fenómenos extremos y, en general, ajustan bastante bien a la curva de Gumbel, siendo éste el método recomendado para la obtención del período de retorno. Elevados períodos de retorno (50, 100 años) denotan intensidades muy fuertes, mientras que los períodos de retorno reducidos (del orden de 2 a 5 años) denotan intensidades muy suaves. En este caso no establecemos ningún cociente respecto a los valores normales porque el concepto de período de retorno ya lleva implícita esta consideración y en su elaboración se tiene en cuenta todo el comportamiento de la serie larga de observaciones.

Unidades: Años.

Tipo de indicador: Indicador de estado.

Escala temporal: Se suele trabajar a escala anual en este parámetro, de forma que el indicador caracterizaría al año en cuestión. Debería utilizarse el año hidrológico.

Ámbito espacial: Se recomienda la realización del indicador en observatorios individuales representativos de los distintos ámbitos que componen el territorio andaluz. Posteriormente, y mediante la media aritmética de los indicadores obtenidos en estos observatorios individuales, se obtendría un indicador medio para toda Andalucía. También podría considerarse como indicador regional el indicador más alto obtenido en el conjunto de los observatorios.

Disponibilidad de datos: Buena. Las precipitaciones máximas diarias se obtienen a partir de las estaciones pluviométricas diarias del INM, de las estaciones automáticas del mismo Instituto o de cualquiera de los restantes organismos que disponen de ellas, entre los que se encuentra la CMA. Por otro lado, series largas de observaciones de este parámetro se encuentran publicadas en: ELIAS (1963): “Precipitaciones máximas en España”, Madrid, Monografía del ICONA, Ministerio de Agricultura. Estas estaciones podrían constituir la red inicial de elaboración del indicador, aunque luego pudiera ampliarse. Sí sería necesario seleccionar adecuadamente los observatorios que van a utilizarse para calcular el índice, siguiendo los criterios comentados en anteriores epígrafes sobre distribución territorial de los observatorios, duración de las series, fiabilidad de los datos, etc.

## 4. Los indicadores propuestos para la evaluación de los problemas climático-ambientales

### 4.1. Reducción de la capa de ozono

El ozono estratosférico constituye un escudo protector frente a los rayos ultravioleta del sol, los cuales, especialmente los UVB, por encima de determinados niveles pueden ser enormemente dañinos para la vida en el planeta. En los últimos años, la emisión hacia la atmósfera de clorofluorocarbonos (CFCs) ha constituido una grave amenaza para esta capa de ozono estratosférico. Esta amenaza se ha materializado especialmente sobre los casquetes polares (sobre todo en el polo sur); no obstante, se sigue también con inquietud su evolución en otras latitudes.

Actualmente, los sensores situados en satélites permiten obtener información sobre el espesor de la capa de ozono en los distintos lugares del planeta, y es éste el dato en el que se basan los indicadores que proponemos para realizar el seguimiento de este problema en la región.

#### **Indicador nº 16: Espesor medio de la capa de ozono/espesor medio normal**

Definición: Es el cociente (multiplicado por 100) entre el valor medio de espesor de la capa de ozono en Andalucía registrado en el período considerado y el que se considera normal para ese mismo período. Con espesores superiores al normal, el indicador vale más de 100, y con espesores inferiores, vale menos de 100. El valor medio para Andalucía se obtendrá mediante la media aritmética de todos los valores consignados en los puntos con información en Andalucía. El valor normal recomendado sería la mediana (percentil 50) de la serie de valores disponibles para la región en ese mismo período. Dado que la fuente utilizada en la CMA para la obtención de la capa de ozono en la región es la información suministrada por la sonda TOVS transportada por el satélite NOAA, y que éste está activo desde 1979, la normal estaría constituida por la mediana de la serie 1979-2002, una serie de 24 años, y por lo tanto suficientemente representativa del comportamiento normal del fenómeno.

Unidades: Tanto por ciento.

Tipo de indicador: Indicador de estado.

Escala temporal: Se recomienda el cálculo del indicador a escala mensual, aunque luego podría agregarse a escala anual.

Ámbito espacial: La magnitud global del problema y de sus impactos, y la reducida variabilidad espacial que caracteriza al fenómeno, aconsejan la utilización del indicador a escala regional, prescindiendo de matices espaciales de mayor detalle.

Disponibilidad de datos y observaciones: Los datos están disponibles en la propia CMA, gracias al convenio firmado entre ésta y el Laboratorio de Teledetección de la Universidad de Valladolid.

Como en la mayoría de los restantes indicadores de naturaleza climática, su utilidad es sólo aproximada, aumentando a medida que el tiempo pasa, debido, como ya hemos dicho, a que la variabilidad natural de los elementos climáticos puede enmascarar las tendencias subyacentes. En cualquier caso, en el parámetro que ahora nos ocupa la utilidad no es nada desdeñable, dado que un valor bajo de espesor de la capa de ozono es siempre perjudicial, independientemente de que sea resultado de un proceso de deterioro o de la variabilidad natural del fenómeno.

### **Indicador nº 17: Porcentaje de superficie bajo umbral crítico**

Definición: Es el porcentaje de la superficie de Andalucía que se sitúa, en el período considerado, por debajo de un umbral crítico de peligrosidad que se suele establecer en 200 unidades Dobson.

Unidades: Tanto por ciento.

Tipo de indicador: Indicador de estado.

Escala temporal: Se recomienda el cálculo del indicador a escala mensual, aunque luego podría agregarse a escala anual.

Ámbito espacial: La magnitud global del problema y de sus impactos, y la reducida variabilidad espacial que caracteriza al fenómeno, aconsejan la utilización del indicador a escala regional, prescindiendo de matices espaciales de mayor detalle.

Disponibilidad de datos y observaciones: Los datos están disponibles en la propia CMA, gracias al convenio firmado entre ésta y el Laboratorio de Teledetección de la Universidad de Valladolid.

## **4.2. Acidificación**

La acidificación de la lluvia se produce como un proceso secundario derivado de la emisión hacia la atmósfera de sulfuros y óxidos de nitrógeno, generados éstos por la quema de combustibles fósiles. Cuando los sulfuros y óxidos de nitrógeno reaccionan con otros elementos atmosféricos dan lugar a la formación de ácidos que son arrastrados hacia la superficie terrestre mediante la precipitación. La lluvia adquiere entonces un carácter ácido que la convierte en un elemento fuertemente destructivo para el tapiz vegetal, los suelos, las producciones agrarias, etc.

Las deposiciones de lluvia ácida pueden producirse muy lejos del lugar de emisión de los sulfuros y óxidos de nitrógeno, ya que las corrientes atmosféricas pueden arrastrar estos compuestos a larga distancia. Esto ha dado lugar a frecuentes fenómenos de contaminación transfronteriza, lo que ha motivado su consideración dentro del programa EMEP (European Monitoring Evaluation Program) y su inclusión y seguimiento en la red BAPMON (Background Air Pollution Monitoring Network), una de cuyas estaciones, la del observatorio de La Cartuja en Granada, se ubica en Andalucía.



El pH de la lluvia suele ser el indicador más utilizado para reflejar de modo genérico el fenómeno de la acidificación y es el que nosotros recomendamos.

### **Indicador n° 18: pH medio de la lluvia**

Definición: Es la media aritmética de los valores de pH registrados en la lluvia en el período considerado en los observatorios andaluces. Los valores más bajos de pH corresponden a las lluvias más ácidas y viceversa, pudiendo establecerse en 5,5 el valor que separa las lluvias ácidas de las que no lo son.

Unidades: valores de pH.

Tipo de indicador: Indicador de estado.

Escala temporal: Se recomienda la realización del índice a escala mensual, aunque después podría agregarse a escala anual.

Ámbito espacial: Hasta el momento sólo tenemos constancia de la existencia de un observatorio que mida el pH de la lluvia en Andalucía, el observatorio de La Cartuja, en Granada, que se integra en la red BAPMON, red orientada al seguimiento de la contaminación transfronteriza. En consecuencia, se utilizarían los datos de este observatorio para expresar el comportamiento del fenómeno en el conjunto de Andalucía. Por otro lado, dado el carácter global o al menos supra-regional que presenta este fenómeno, el observatorio podría considerarse suficientemente adecuado para reflejar la realidad del conjunto regional. De cualquier forma, sería interesante la medición del pH de la lluvia en entornos urbanos e industriales, con el objeto de poder comparar los resultados obtenidos en ambos contextos tan claramente diferenciados.

Disponibilidad de datos: Los datos del observatorio de La Cartuja y de todos los que componen la red BAPMON, en funcionamiento desde 1983, están disponibles para la Consejería de Medio Ambiente.

### **Indicador n° 19: Porcentaje de observaciones con pH por debajo del umbral crítico de 5,5**

Definición: Es el porcentaje de observaciones con valor de pH de la lluvia por debajo del valor 5,5 respecto al total de observaciones del período considerado.

Unidades: Tanto por ciento.

Tipo de indicador: Indicador de estado.

Escala temporal: Se recomienda la realización del índice a escala mensual, aunque después podría agregarse a escala anual.

Ámbito espacial: Hasta el momento sólo tenemos constancia de la existencia de un observatorio que mida el pH de la lluvia en Andalucía, el observatorio de La Cartuja, en Granada, que se integra en la red BAPMON, red orientada al seguimiento de la contaminación transfronteriza. En consecuencia, se utilizarían los datos de este

observatorio para expresar el comportamiento del fenómeno en el conjunto de Andalucía. Por otro lado, dado el carácter global o al menos supra-regional que presenta este fenómeno, el observatorio podría considerarse suficientemente adecuado para reflejar la realidad del conjunto regional. De cualquier forma, sería interesante la medición del pH de la lluvia en entornos urbanos e industriales, con el objeto de poder comparar los resultados obtenidos en ambos contextos tan claramente diferenciados.

Disponibilidad de datos: Los datos del observatorio de La Cartuja y de todos los que componen la red BAPMON, en funcionamiento desde 1983, están disponibles para la Consejería de Medio Ambiente.

### 4.3. Desertificación

De entre las múltiples definiciones y conceptualizaciones de la desertización, una de las más aceptadas es la propuesta por la FAO y el PNUMA, dos de las organizaciones que más se han ocupado de su análisis y tratamiento, y según la cual la desertización sería “la expresión general de los procesos económicos y sociales, así como de los naturales e inducidos, que destruyen el equilibrio del suelo, la vegetación, el aire y el agua en las áreas sujetas a aridez edáfica y climática. El deterioro continuo origina la disminución o destrucción del potencial biológico de la tierra, la degradación de las condiciones de vida y la expansión de los desiertos”. (FAO/PNUMA: “Metodología provisional para la evaluación y representación cartográfica de la desertización”, Roma, 1984, p. 3). Se trataría, en suma, de un deterioro y degradación de la vida en un lugar dado por causas naturales, por causas antrópicas o por ambas simultáneamente.

Las causas antrópicas son las más comunes en la génesis de la desertización, destacando entre ellas el sobrepastoreo, los incendios forestales y las roturaciones y prácticas agrícolas que propician la erosión, fenómenos todos que ponen en marcha el deterioro del suelo, la cubierta vegetal, la fauna, etc. A su vez, tales procesos, si son suficientemente intensos, podrían incidir en una disminución de la humedad o incluso de las precipitaciones.

Las zonas más proclives a experimentar procesos de desertización son las de climas áridos y semiáridos, con ecosistemas frágiles y muy sensibles a cualquier pequeña alteración, especialmente en lo concerniente a la precipitación, de por sí muy reducida en estos medios. En tales zonas es obligatorio el seguimiento de todos los procesos susceptibles de desencadenar la desertización, así como de la evolución experimentada por la propia precipitación.

#### **Indicador nº 20: Erosividad de la lluvia**

Las pérdidas de suelo constituyen un importante factor en los procesos de desertización, y en el cálculo de éstas entra en juego la capacidad erosiva de la lluvia.

La erosividad de la lluvia expresa la cantidad de energía cinética desplegada por el conjunto de las gotas de agua de un aguacero que impactan contra el suelo, siendo esta directamente proporcional a la densidad del aguacero, la velocidad inercial de las gotas de lluvia y el tamaño de las mismas. La erosividad de la lluvia se define como el

producto de dos de las características básicas de la lluvia: la energía cinética y la intensidad máxima de precipitación durante un periodo de 30 minutos consecutivos.

Definición: El factor R de erosividad de la lluvia para una escala temporal determinada (anual, mensual o diaria) se considera como la suma del índice de erosión EI.

El valor EI para una tormenta dada es el producto de la energía cinética E(Mj/Ha) por la máxima intensidad de la lluvia caída en 30 minutos I30 (mm/h), siendo la expresión:

$$R_t = E_t \cdot I_{30} = \left[ \sum_{k=1}^p (e_k) \cdot V_k \cdot I_{30} \right] = \left[ \sum_{k=1}^p [(0,119 + 0,0873 \cdot \log_{10}(i_k)) \cdot V_k] \right] \cdot I_{30} = i_k = V_k / t_k, \text{ donde:}$$

- $e_k$  es la energía cinética correspondiente al intervalo de tiempo  $t_k$  y para cada unidad de precipitación (Mj/ha mm)
- $v_k$  es la cantidad de lluvia caída en el intervalo de tiempo  $t_k$ .  $k$  varía entre 1 y  $p$ , siendo  $p$  el número de intervalos en que está dividida una tormenta, e
- $i_k$  es la intensidad de la lluvia (mm/h)

Si el valor de la intensidad de la precipitación  $i_k$  es superior a 76 mm/hora, entonces la energía cinética  $e_k$  tomará el valor constante 0.283.

El valor R para un año completo se obtiene sumando el valor R diario (suma de R en el conjunto de periodos de lluvia en el día) del conjunto de días con  $R > 0$  presentes en el año.

Unidades: Megajulios\*milímetro/ hectáreas\*hora\*año

Tipo de indicador: Indicador de estado.

Escala temporal: Se recomienda la realización del índice a escala mensual, pudiéndose agregar posteriormente a escala anual.

Ámbito espacial: Se ha desarrollado una metodología para la especialización de los datos de erosividad calculados en las estaciones automáticas repartidas por el territorio andaluz, obteniéndose una cobertura de 75 m de resolución espacial.

Disponibilidad de datos: Los datos utilizados para la realización del índice provienen de las redes de estaciones automáticas y de estaciones diarias del INM de la región.

#### 4.4. Cambio climático

El cambio climático constituye uno de los problemas climático-ambientales más graves a los que se enfrenta la sociedad a escala planetaria, y está caracterizado fundamentalmente por el aumento de las temperaturas registrado desde finales del siglo XIX hasta la actualidad, un aumento atribuible en gran parte al fuerte incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero producido por las actividades humanas a partir de la Revolución Industrial. En consonancia con las características del problema, hemos elaborado un indicador que pretende evaluar precisamente ese aumento de las temperaturas. Además, dada la evidencia ya admitida de la responsabilidad humana en

este calentamiento, y los compromisos internacionales que ya se están asumiendo para hacerle frente, hemos diseñado también un conjunto de indicadores destinados a evaluar la presión que se está ejerciendo en Andalucía sobre el sistema climático en esa dirección.

### **Indicador n° 21: Índice de calentamiento global**

En Andalucía los valores termométricos han adoptado durante el presente siglo pautas de comportamiento muy similares a las registradas para el conjunto mundial, las cuales, como es bien sabido, han suscitado una fuerte preocupación en torno a la existencia de un calentamiento global.

Definición: Para la toma en consideración de las variaciones térmicas experimentadas a lo largo de todo el período, y no sólo de la experimentada en el año objeto de análisis, hemos elaborado el índice de calentamiento anual (de las temperaturas medias), que resulta de la media aritmética entre la anomalía térmica del año y el incremento térmico acumulado desde el inicio del periodo.

Unidades: El índice es adimensional.

Tipo de indicador: Indicador de tendencia.

Escala temporal: Anual.

Ámbito espacial: Se recomienda la realización del indicador en observatorios individuales representativos de los distintos ámbitos que componen el territorio andaluz. Posteriormente, y mediante la media aritmética de los indicadores obtenidos en estos observatorios individuales, se obtendría un indicador medio para toda Andalucía.

Disponibilidad de datos: Las series de Granada, Córdoba y Jerez de la Frontera han sido sometidas al mismo tratamiento que las series medias mundiales utilizadas para las evaluaciones del calentamiento global por parte del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático. Consecuentemente, en ellas se han corregido las posibles inhomogeneidades derivadas de errores en la medición o la transcripción de los datos y se ha eliminado el efecto urbano. Estas tres series son lo suficientemente representativas del conjunto del territorio andaluz.

### **Indicador n° 22: Índice de calentamiento (temperaturas máximas)**

Definición: El índice de calentamiento anual, calculado ahora para las temperaturas máximas, resulta de la media aritmética entre la anomalía térmica del año y el incremento térmico acumulado desde el inicio del periodo.

Unidades: El índice es adimensional.

Tipo de indicador: Indicador de tendencia.

Escala temporal: Anual.

Ámbito espacial: Se recomienda la realización del indicador en observatorios individuales representativos de los distintos ámbitos que componen el territorio andaluz. Posteriormente, y mediante la media aritmética de los indicadores obtenidos en estos observatorios individuales, se obtendría un indicador medio para toda Andalucía.

Disponibilidad de datos: Las series de Granada, Córdoba y Jerez de la Frontera han sido sometidas al mismo tratamiento que las series medias mundiales utilizadas para las evaluaciones del calentamiento global por parte del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático. Consecuentemente, en ellas se han corregido las posibles inhomogeneidades derivadas de errores en la medición o la transcripción de los datos y se ha eliminado el efecto urbano. Estas tres series son lo suficientemente representativas del conjunto del territorio andaluz.

### **Indicador nº 23: Índice de calentamiento (temperaturas mínimas)**

Definición: El índice de calentamiento anual, calculado ahora para las temperaturas mínimas, resulta de la media aritmética entre la anomalía térmica del año y el incremento térmico acumulado desde el inicio del periodo.

Unidades: El índice es adimensional.

Tipo de indicador: Indicador de tendencia.

Escala temporal: Anual.

Ámbito espacial: Se recomienda la realización del indicador en observatorios individuales representativos de los distintos ámbitos que componen el territorio andaluz. Posteriormente, y mediante la media aritmética de los indicadores obtenidos en estos observatorios individuales, se obtendría un indicador medio para toda Andalucía.

Disponibilidad de datos: Las series de Granada, Córdoba y Jerez de la Frontera han sido sometidas al mismo tratamiento que las series medias mundiales utilizadas para las evaluaciones del calentamiento global por parte del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático. Consecuentemente, en ellas se han corregido las posibles inhomogeneidades derivadas de errores en la medición o la transcripción de los datos y se ha eliminado el efecto urbano. Estas tres series son lo suficientemente representativas del conjunto del territorio andaluz.

### **Indicador nº 24: Emisión bruta total de gases de efecto invernadero (GEI)**

Como es bien sabido, la comunidad científica sostiene en la actualidad que el calentamiento global está motivado en su mayor parte por un aumento del efecto invernadero registrado en la atmósfera. Este habría sido generado por un aumento sostenido de las concentraciones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en la atmósfera desde los inicios de la Revolución Industrial hasta la actualidad, estando a su vez dicho aumento motivado por el incremento de las emisiones de GEI por parte del hombre y también, aunque en menor medida, por la reducción de los sumideros de dichos gases. La enorme dimensión del problema – que se agrava por la importancia de los GEI para el funcionamiento de la economía mundial y por su gran inercia de permanencia en la

atmósfera- ha impulsado ya a la comunidad internacional a intentar frenar el aumento en la emisión de estos GEI, siendo en este sentido el Protocolo de Kioto el documento que mejor refleja este espíritu.

En dicho Protocolo la Unión Europea en su conjunto se compromete a reducir sus emisiones netas (resultado de contabilizar tanto las variaciones en las fuentes como en los sumideros) de GEI en un 8% para el periodo 2008-2012 respecto a los valores de 1990-95. En el reparto interno de los países de la Unión, a España le ha correspondido un aumento máximo en sus emisiones de un 15% para ese mismo periodo.

Para el control del cumplimiento de estos acuerdos se ha procedido ya a imponer la obligatoriedad de realizar Inventarios Nacionales de Emisiones, todos sometidos a los mismos criterios y la misma metodología, los cuales son enviados anualmente a la Unión Europea, que evalúa el estado del problema. Los contenidos de estos Inventarios, a escala de Andalucía, constituyen buenos indicadores de presión en relación con este problema climático-ambiental en la región.

**Definición:** El indicador propuesto contabiliza la emisión bruta total de GEI realizada en la comunidad autónoma durante el año. El carácter bruto de las emisiones alude a que en ese valor no se han descontado las posibles reducciones de GEI atribuibles a posibles sumideros. El carácter de total se debe a que el valor incorpora las emisiones registradas por todos los GEI contemplados en el protocolo de Kioto. Dichos gases son el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>), el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), los carburos hidrofluorados (HFC), los carburos perfluorados (PFC) y el hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>).

No todos estos gases ejercen el mismo efecto sobre la temperatura atmosférica, por lo cual sus valores de emisión no son directamente comparables en términos de calentamiento global. Para conseguir que esto sea así, las emisiones se expresan todas en unidades equivalentes de CO<sub>2</sub>, las cuales resultan de multiplicar la masa emitida por el Potencial de Calentamiento Global correspondiente a cada gas [2]. A través de este procedimiento todos los valores de los distintos gases resultan comparables en términos del calentamiento que pueden generar y, en consecuencia, se hace posible su suma para integrar este valor total. Ello es lo que determina, por otro lado, que la unidad de medida para este indicador sea los Gigagramos de CO<sub>2</sub> equivalente.

**Unidades:** Gigagramos de CO<sub>2</sub> equivalente.

**Tipo de indicador:** Indicador de presión.

**Escala temporal:** La escala es anual porque anualmente se realizan los inventarios de emisiones para enviar a la Unión Europea.

**Ámbito espacial:** El ámbito sería el de la región en su conjunto, el cual resulta de la suma de los valores consignados para las distintas provincias que la componen.

**Disponibilidad de datos y observaciones:** Los datos están disponibles en la CMA. Actualmente ésta cuenta con los datos correspondientes a 1990, 1995, 1999 y 2000. El inventario correspondiente a 2001 está a punto de terminarse. No será fácil conseguir

este dato para ser incluido en el Informe de Medio Ambiente del año correspondiente, porque parecen llevar un año de retraso en la realización, pero debería intentarse.

### **Indicador n° 25: Emisión bruta de CO2**

Definición: El indicador propuesto contabiliza la emisión bruta de CO2 realizada en la comunidad autónoma durante el año.

Unidades: Gigagramos de CO2

Tipo de indicador: Indicador de presión.

Escala temporal: La escala es anual porque anualmente se realizan los inventarios de emisiones para enviar a la Unión Europea.

Ámbito espacial: El ámbito sería el de la región en su conjunto, el cual resulta de la suma de los valores consignados para las distintas provincias que la componen.

Disponibilidad de datos y observaciones: Los datos están disponibles en la CMA. Actualmente ésta cuenta con los datos correspondientes a 1990, 1995, 1999 y 2000. El inventario correspondiente a 2001 está a punto de terminarse. No será fácil conseguir este dato para ser incluido en el Informe de Medio Ambiente del año correspondiente, porque parecen llevar un año de retraso en la realización, pero debería intentarse.

### **Indicador n° 26: Emisión bruta de CH4**

Definición: El indicador propuesto contabiliza la emisión bruta de CH4 realizada en la comunidad autónoma durante el año.

No todos los gases ejercen el mismo efecto sobre la temperatura atmosférica, por lo cual sus valores de emisión no son directamente comparables en términos de calentamiento global. Para conseguir que esto sea así, las emisiones se expresan todas en unidades equivalentes de CO2, las cuales resultan de multiplicar la masa emitida por el Potencial de Calentamiento Global correspondiente a cada gas. A través de este procedimiento todos los valores de los distintos gases resultan comparables en términos del calentamiento que pueden generar y, en consecuencia, se hace posible su suma para integrar este valor total. Ello es lo que determina, por otro lado, que la unidad de medida para este indicador sea los Gigagramos de CO2 equivalente.

Unidades: Gigagramos de CO2 equivalente.

Tipo de indicador: Indicador de presión.

Escala temporal: La escala es anual porque anualmente se realizan los inventarios de emisiones para enviar a la Unión Europea.

Ámbito espacial: El ámbito sería el de la región en su conjunto, el cual resulta de la suma de los valores consignados para las distintas provincias que la componen.

Disponibilidad de datos y observaciones: Los datos están disponibles en la CMA. Actualmente ésta cuenta con los datos correspondientes a 1990, 1995, 1999 y 2000. El inventario correspondiente a 2001 está a punto de terminarse. No será fácil conseguir este dato para ser incluido en el Informe de Medio Ambiente del año correspondiente, porque parecen llevar un año de retraso en la realización, pero debería intentarse.

### **Indicador n° 27: Emisión bruta de N2O**

Definición: El indicador propuesto contabiliza la emisión bruta de N2O realizada en la comunidad autónoma durante el año.

No todos los gases ejercen el mismo efecto sobre la temperatura atmosférica, por lo cual sus valores de emisión no son directamente comparables en términos de calentamiento global. Para conseguir que esto sea así, las emisiones se expresan todas en unidades equivalentes de CO2, las cuales resultan de multiplicar la masa emitida por el Potencial de Calentamiento Global correspondiente a cada gas. A través de este procedimiento todos los valores de los distintos gases resultan comparables en términos del calentamiento que pueden generar y, en consecuencia, se hace posible su suma para integrar este valor total. Ello es lo que determina, por otro lado, que la unidad de medida para este indicador sea los Gigagramos de CO2 equivalente.

Unidades: Gigagramos de CO2 equivalente.

Tipo de indicador: Indicador de presión.

Escala temporal: La escala es anual porque anualmente se realizan los inventarios de emisiones para enviar a la Unión Europea.

Ámbito espacial: El ámbito sería el de la región en su conjunto, el cual resulta de la suma de los valores consignados para las distintas provincias que la componen.

Disponibilidad de datos y observaciones: Los datos están disponibles en la CMA. Actualmente ésta cuenta con los datos correspondientes a 1990, 1995, 1999 y 2000. El inventario correspondiente a 2001 está a punto de terminarse. No será fácil conseguir este dato para ser incluido en el Informe de Medio Ambiente del año correspondiente, porque parecen llevar un año de retraso en la realización, pero debería intentarse.

### **Indicador n° 28: Emisión bruta de HFC**

Definición: El indicador propuesto contabiliza la emisión bruta de HFC realizada en la comunidad autónoma durante el año.

No todos los gases ejercen el mismo efecto sobre la temperatura atmosférica, por lo cual sus valores de emisión no son directamente comparables en términos de calentamiento global. Para conseguir que esto sea así, las emisiones se expresan todas en unidades equivalentes de CO2, las cuales resultan de multiplicar la masa emitida por el Potencial de Calentamiento Global correspondiente a cada gas. A través de este procedimiento todos los valores de los distintos gases resultan comparables en términos del calentamiento que pueden generar y, en consecuencia, se hace posible su suma para



integrar este valor total. Ello es lo que determina, por otro lado, que la unidad de medida para este indicador sea los Gigagramos de CO<sub>2</sub> equivalente.

Unidades: Gigagramos de CO<sub>2</sub> equivalente.

Tipo de indicador: Indicador de presión.

Escala temporal: La escala es anual porque anualmente se realizan los inventarios de emisiones para enviar a la Unión Europea.

Ámbito espacial: El ámbito sería el de la región en su conjunto, el cual resulta de la suma de los valores consignados para las distintas provincias que la componen.

Disponibilidad de datos y observaciones: Los datos están disponibles en la CMA. Actualmente ésta cuenta con los datos correspondientes a 1990, 1995, 1999 y 2000. El inventario correspondiente a 2001 está a punto de terminarse. No será fácil conseguir este dato para ser incluido en el Informe de Medio Ambiente del año correspondiente, porque parecen llevar un año de retraso en la realización, pero debería intentarse.

### **Indicador n° 29: Emisión bruta de PFC**

Definición: El indicador propuesto contabiliza la emisión bruta de PFC realizada en la comunidad autónoma durante el año.

No todos los gases ejercen el mismo efecto sobre la temperatura atmosférica, por lo cual sus valores de emisión no son directamente comparables en términos de calentamiento global. Para conseguir que esto sea así, las emisiones se expresan todas en unidades equivalentes de CO<sub>2</sub>, las cuales resultan de multiplicar la masa emitida por el Potencial de Calentamiento Global correspondiente a cada gas. A través de este procedimiento todos los valores de los distintos gases resultan comparables en términos del calentamiento que pueden generar y, en consecuencia, se hace posible su suma para integrar este valor total. Ello es lo que determina, por otro lado, que la unidad de medida para este indicador sea los Gigagramos de CO<sub>2</sub> equivalente.

Unidades: Gigagramos de CO<sub>2</sub> equivalente.

Tipo de indicador: Indicador de presión.

Escala temporal: La escala es anual porque anualmente se realizan los inventarios de emisiones para enviar a la Unión Europea.

Ámbito espacial: El ámbito sería el de la región en su conjunto, el cual resulta de la suma de los valores consignados para las distintas provincias que la componen.

Disponibilidad de datos y observaciones: Los datos están disponibles en la CMA. Actualmente ésta cuenta con los datos correspondientes a 1990, 1995, 1999 y 2000. El inventario correspondiente a 2001 está a punto de terminarse. No será fácil conseguir este dato para ser incluido en el Informe de Medio Ambiente del año correspondiente, porque parecen llevar un año de retraso en la realización, pero debería intentarse.

### **Indicador nº 30: Emisión bruta de SF6**

Definición: El indicador propuesto contabiliza la emisión bruta de SF6 realizada en la comunidad autónoma durante el año.

No todos los gases ejercen el mismo efecto sobre la temperatura atmosférica, por lo cual sus valores de emisión no son directamente comparables en términos de calentamiento global. Para conseguir que esto sea así, las emisiones se expresan todas en unidades equivalentes de CO2, las cuales resultan de multiplicar la masa emitida por el Potencial de Calentamiento Global correspondiente a cada gas. A través de este procedimiento todos los valores de los distintos gases resultan comparables en términos del calentamiento que pueden generar y, en consecuencia, se hace posible su suma para integrar este valor total. Ello es lo que determina, por otro lado, que la unidad de medida para este indicador sea los Gigagramos de CO2 equivalente.

Unidades: Gigagramos de CO2 equivalente.

Tipo de indicador: Indicador de presión.

Escala temporal: La escala es anual porque anualmente se realizan los inventarios de emisiones para enviar a la Unión Europea.

Ámbito espacial: El ámbito sería el de la región en su conjunto, el cual resulta de la suma de los valores consignados para las distintas provincias que la componen.

Disponibilidad de datos y observaciones: Los datos están disponibles en la CMA. Actualmente ésta cuenta con los datos correspondientes a 1990, 1995, 1999 y 2000. El inventario correspondiente a 2001 está a punto de terminarse. No será fácil conseguir este dato para ser incluido en el Informe de Medio Ambiente del año correspondiente, porque parecen llevar un año de retraso en la realización, pero debería intentarse.

### **Indicador nº 31: Emisión bruta de GEI en el sector de la energía**

Definición: El indicador propuesto contabiliza la emisión bruta total de GEI realizada en la comunidad autónoma durante el año en el sector de la energía.

Unidades: Gigagramos de CO2 equivalente.

Tipo de indicador: Indicador de presión.

Escala temporal: La escala es anual porque anualmente se realizan los inventarios de emisiones para enviar a la Unión Europea.

Ámbito espacial: El ámbito sería el de la región en su conjunto, el cual resulta de la suma de los valores consignados para las distintas provincias que la componen.

Disponibilidad de datos y observaciones: Los datos están disponibles en la CMA. Actualmente ésta cuenta con los datos correspondientes a 1990, 1995, 1999 y 2000. El

inventario correspondiente a 2001 está a punto de terminarse. No será fácil conseguir este dato para ser incluido en el Informe de Medio Ambiente del año correspondiente, porque parecen llevar un año de retraso en la realización, pero debería intentarse.

### **Indicador n° 32: Emisión bruta de GEI en el sector de la industria**

Definición: El indicador propuesto contabiliza la emisión bruta total de GEI realizada en la comunidad autónoma durante el año en el sector de la industria.

Unidades: Gigagramos de CO<sub>2</sub> equivalente.

Tipo de indicador: Indicador de presión.

Escala temporal: La escala es anual porque anualmente se realizan los inventarios de emisiones para enviar a la Unión Europea.

Ámbito espacial: El ámbito sería el de la región en su conjunto, el cual resulta de la suma de los valores consignados para las distintas provincias que la componen.

Disponibilidad de datos y observaciones: Los datos están disponibles en la CMA. Actualmente ésta cuenta con los datos correspondientes a 1990, 1995, 1999 y 2000. El inventario correspondiente a 2001 está a punto de terminarse. No será fácil conseguir este dato para ser incluido en el Informe de Medio Ambiente del año correspondiente, porque parecen llevar un año de retraso en la realización, pero debería intentarse.

### **Indicador n° 33: Emisión bruta de GEI en disolventes**

Definición: El indicador propuesto contabiliza la emisión bruta total de GEI realizada en la comunidad autónoma durante el año en disolventes.

Unidades: Gigagramos de CO<sub>2</sub> equivalente.

Tipo de indicador: Indicador de presión.

Escala temporal: La escala es anual porque anualmente se realizan los inventarios de emisiones para enviar a la Unión Europea.

Ámbito espacial: El ámbito sería el de la región en su conjunto, el cual resulta de la suma de los valores consignados para las distintas provincias que la componen.

Disponibilidad de datos y observaciones: Los datos están disponibles en la CMA. Actualmente ésta cuenta con los datos correspondientes a 1990, 1995, 1999 y 2000. El inventario correspondiente a 2001 está a punto de terminarse. No será fácil conseguir este dato para ser incluido en el Informe de Medio Ambiente del año correspondiente, porque parecen llevar un año de retraso en la realización, pero debería intentarse.

### **Indicador nº 34: Emisión bruta de GEI en la agricultura**

Definición: El indicador propuesto contabiliza la emisión bruta total de GEI realizada en la comunidad autónoma durante el año en la agricultura.

Unidades: Gigagramos de CO2 equivalente.

Tipo de indicador: Indicador de presión.

Escala temporal: La escala es anual porque anualmente se realizan los inventarios de emisiones para enviar a la Unión Europea.

Ámbito espacial: El ámbito sería el de la región en su conjunto, el cual resulta de la suma de los valores consignados para las distintas provincias que la componen.

Disponibilidad de datos y observaciones: Los datos están disponibles en la CMA. Actualmente ésta cuenta con los datos correspondientes a 1990, 1995, 1999 y 2000. El inventario correspondiente a 2001 está a punto de terminarse. No será fácil conseguir este dato para ser incluido en el Informe de Medio Ambiente del año correspondiente, porque parecen llevar un año de retraso en la realización, pero debería intentarse.

### **Indicador nº 35: Emisión bruta de GEI en residuos**

Definición: El indicador propuesto contabiliza la emisión bruta total de GEI realizada en la comunidad autónoma durante el año en residuos.

Unidades: Gigagramos de CO2 equivalente.

Tipo de indicador: Indicador de presión.

Escala temporal: La escala es anual porque anualmente se realizan los inventarios de emisiones para enviar a la Unión Europea.

Ámbito espacial: El ámbito sería el de la región en su conjunto, el cual resulta de la suma de los valores consignados para las distintas provincias que la componen.

Disponibilidad de datos y observaciones: Los datos están disponibles en la CMA. Actualmente ésta cuenta con los datos correspondientes a 1990, 1995, 1999 y 2000. El inventario correspondiente a 2001 está a punto de terminarse. No será fácil conseguir este dato para ser incluido en el Informe de Medio Ambiente del año correspondiente, porque parecen llevar un año de retraso en la realización, pero debería intentarse.

### **Indicador nº 36: Emisión bruta total de GEI asociada a cambios en el uso del suelo**

Los cambios en el uso del suelo pueden tener una incidencia clara sobre el efecto invernadero a través de dos vías diferentes:

- la emisión hacia la atmósfera de GEI, que se produce en muchas actividades, entre las cuales destaca la agricultura, con emisiones a veces importantes de gases como el metano o los óxidos de nitrógeno, y

- la eliminación desde la atmósfera de dichos gases, dado que ciertas cubiertas agrícolas o, sobre todo, forestales ejercen un importante papel de sumideros de GEI.

Definición: El indicador propuesto evalúa las emisiones totales de GEI atribuibles a los cambios en el uso del suelo. En los casos en los que estos cambios impliquen un aumento de los sumideros, los valores de emisión aparecerán como valores negativos, y en caso contrario aparecerán como positivos.

Unidades: Gigagramos de CO2 equivalente.

Tipo de indicador: Indicador de presión.

Escala temporal: La escala es anual porque anualmente se realizan los inventarios de emisiones para enviar a la Unión Europea.

Ámbito espacial: El ámbito sería el de la región en su conjunto, el cual resulta de la suma de los valores consignados para las distintas provincias que la componen.

Disponibilidad de datos y observaciones: Los datos están disponibles en la CMA. Actualmente ésta cuenta con los datos correspondientes a 1990, 1995, 1999 y 2000. El inventario correspondiente a 2001 está a punto de terminarse. No será fácil conseguir este dato para ser incluido en el Informe de Medio Ambiente del año correspondiente, porque parecen llevar un año de retraso en la realización, pero debería intentarse.

### **Indicador nº 37: Índice anual respecto a 1990 de emisión bruta total de GEI**

Definición: El indicador pretende evaluar la evolución sufrida por estas emisiones a partir de 1990, que es el periodo de referencia fijado para el establecimiento de las reducciones de emisiones y el primer año en el cual se hace el inventario. Consiste en igualar a 100 las emisiones correspondientes a 1990 y expresar las emisiones de cada año con respecto a este valor de 100.

Unidades: Tanto por ciento.

Tipo de indicador: Indicador de tendencia-resultado.

Escala temporal: La escala es anual porque anualmente se realizan los inventarios de emisiones para enviar a la Unión Europea.

Ámbito espacial: El ámbito sería el de la región en su conjunto, el cual resulta de la suma de los valores consignados para las distintas provincias que la componen.

Disponibilidad de datos y observaciones: Los datos están disponibles en la CMA. Actualmente ésta cuenta con los datos correspondientes a 1990, 1995, 1999 y 2000. El inventario correspondiente a 2001 está a punto de terminarse. No será fácil conseguir este dato para ser incluido en el Informe de Medio Ambiente del año correspondiente, porque parecen llevar un año de retraso en la realización, pero debería intentarse.

### **Indicador nº 38: Índice anual respecto a 1990 de emisión bruta de CO<sub>2</sub>**

Definición: El indicador pretende evaluar la evolución sufrida por estas emisiones a partir de 1990, que es el periodo de referencia fijado para el establecimiento de las reducciones de emisiones y el primer año en el cual se hace el inventario. Consiste en igualar a 100 las emisiones correspondientes a 1990 y expresar las emisiones de cada año con respecto a este valor de 100.

Unidades: Tanto por ciento.

Tipo de indicador: Indicador de tendencia- resultado.

Escala temporal: La escala es anual porque anualmente se realizan los inventarios de emisiones para enviar a la Unión Europea.

Ámbito espacial: El ámbito sería el de la región en su conjunto, el cual resulta de la suma de los valores consignados para las distintas provincias que la componen.

Disponibilidad de datos y observaciones: Los datos están disponibles en la CMA. Actualmente ésta cuenta con los datos correspondientes a 1990, 1995, 1999 y 2000. El inventario correspondiente a 2001 está a punto de terminarse. No será fácil conseguir este dato para ser incluido en el Informe de Medio Ambiente del año correspondiente, porque parecen llevar un año de retraso en la realización, pero debería intentarse.

### **Indicador nº 39: Índice anual respecto a 1990 de emisión bruta de NH<sub>4</sub>**

Definición: El indicador pretende evaluar la evolución sufrida por estas emisiones a partir de 1990, que es el periodo de referencia fijado para el establecimiento de las reducciones de emisiones y el primer año en el cual se hace el inventario. Consiste en igualar a 100 las emisiones correspondientes a 1990 y expresar las emisiones de cada año con respecto a este valor de 100.

Unidades: Tanto por ciento.

Tipo de indicador: Indicador de tendencia- resultado.

Escala temporal: La escala es anual porque anualmente se realizan los inventarios de emisiones para enviar a la Unión Europea.

Ámbito espacial: El ámbito sería el de la región en su conjunto, el cual resulta de la suma de los valores consignados para las distintas provincias que la componen.

Disponibilidad de datos y observaciones: Los datos están disponibles en la CMA. Actualmente ésta cuenta con los datos correspondientes a 1990, 1995, 1999 y 2000. El inventario correspondiente a 2001 está a punto de terminarse. No será fácil conseguir este dato para ser incluido en el Informe de Medio Ambiente del año correspondiente, porque parecen llevar un año de retraso en la realización, pero debería intentarse.

#### **Indicador nº 40: Índice anual respecto a 1990 de emisión bruta de N<sub>2</sub>O**

Definición: El indicador pretende evaluar la evolución sufrida por estas emisiones a partir de 1990, que es el periodo de referencia fijado para el establecimiento de las reducciones de emisiones y el primer año en el cual se hace el inventario. Consiste en igualar a 100 las emisiones correspondientes a 1990 y expresar las emisiones de cada año con respecto a este valor de 100.

Unidades: Tanto por ciento.

Tipo de indicador: Indicador de tendencia- resultado.

Escala temporal: La escala es anual porque anualmente se realizan los inventarios de emisiones para enviar a la Unión Europea.

Ámbito espacial: El ámbito sería el de la región en su conjunto, el cual resulta de la suma de los valores consignados para las distintas provincias que la componen.

Disponibilidad de datos y observaciones: Los datos están disponibles en la CMA. Actualmente ésta cuenta con los datos correspondientes a 1990, 1995, 1999 y 2000. El inventario correspondiente a 2001 está a punto de terminarse. No será fácil conseguir este dato para ser incluido en el Informe de Medio Ambiente del año correspondiente, porque parecen llevar un año de retraso en la realización, pero debería intentarse.

#### **Indicador nº 41: Índice anual respecto a 1990 de emisión bruta de HFC**

Definición: El indicador pretende evaluar la evolución sufrida por estas emisiones a partir de 1990, que es el periodo de referencia fijado para el establecimiento de las reducciones de emisiones y el primer año en el cual se hace el inventario. Consiste en igualar a 100 las emisiones correspondientes a 1990 y expresar las emisiones de cada año con respecto a este valor de 100.

Unidades: Tanto por ciento.

Tipo de indicador: Indicador de tendencia- resultado.

Escala temporal: La escala es anual porque anualmente se realizan los inventarios de emisiones para enviar a la Unión Europea.

Ámbito espacial: El ámbito sería el de la región en su conjunto, el cual resulta de la suma de los valores consignados para las distintas provincias que la componen.

Disponibilidad de datos y observaciones: Los datos están disponibles en la CMA. Actualmente ésta cuenta con los datos correspondientes a 1990, 1995, 1999 y 2000. El inventario correspondiente a 2001 está a punto de terminarse. No será fácil conseguir este dato para ser incluido en el Informe de Medio Ambiente del año correspondiente, porque parecen llevar un año de retraso en la realización, pero debería intentarse.

### **Indicador nº 42: Índice anual respecto a 1990 de emisión bruta de PFC**

Definición: El indicador pretende evaluar la evolución sufrida por estas emisiones a partir de 1990, que es el periodo de referencia fijado para el establecimiento de las reducciones de emisiones y el primer año en el cual se hace el inventario. Consiste en igualar a 100 las emisiones correspondientes a 1990 y expresar las emisiones de cada año con respecto a este valor de 100.

Unidades: Tanto por ciento.

Tipo de indicador: Indicador de tendencia- resultado.

Escala temporal: La escala es anual porque anualmente se realizan los inventarios de emisiones para enviar a la Unión Europea.

Ámbito espacial: El ámbito sería el de la región en su conjunto, el cual resulta de la suma de los valores consignados para las distintas provincias que la componen.

Disponibilidad de datos y observaciones: Los datos están disponibles en la CMA. Actualmente ésta cuenta con los datos correspondientes a 1990, 1995, 1999 y 2000. El inventario correspondiente a 2001 está a punto de terminarse. No será fácil conseguir este dato para ser incluido en el Informe de Medio Ambiente del año correspondiente, porque parecen llevar un año de retraso en la realización, pero debería intentarse.

### **Indicador nº 43: Índice anual respecto a 1990 de emisión bruta de SF6**

Definición: El indicador pretende evaluar la evolución sufrida por estas emisiones a partir de 1990, que es el periodo de referencia fijado para el establecimiento de las reducciones de emisiones y el primer año en el cual se hace el inventario. Consiste en igualar a 100 las emisiones correspondientes a 1990 y expresar las emisiones de cada año con respecto a este valor de 100.

Unidades: Tanto por ciento.

Tipo de indicador: Indicador de tendencia- resultado.

Escala temporal: La escala es anual porque anualmente se realizan los inventarios de emisiones para enviar a la Unión Europea.

Ámbito espacial: El ámbito sería el de la región en su conjunto, el cual resulta de la suma de los valores consignados para las distintas provincias que la componen.

Disponibilidad de datos y observaciones: Los datos están disponibles en la CMA. Actualmente ésta cuenta con los datos correspondientes a 1990, 1995, 1999 y 2000. El inventario correspondiente a 2001 está a punto de terminarse. No será fácil conseguir este dato para ser incluido en el Informe de Medio Ambiente del año correspondiente, porque parecen llevar un año de retraso en la realización, pero debería intentarse.



### **Indicador nº 44: Índice anual respecto a 1990 de emisión bruta de GEI en el sector de la energía**

Definición: El indicador pretende evaluar la evolución sufrida por estas emisiones a partir de 1990, que es el periodo de referencia fijado para el establecimiento de las reducciones de emisiones y el primer año en el cual se hace el inventario. Consiste en igualar a 100 las emisiones correspondientes a 1990 y expresar las emisiones de cada año con respecto a este valor de 100.

Unidades: Tanto por ciento.

Tipo de indicador: Indicador de tendencia- resultado.

Escala temporal: La escala es anual porque anualmente se realizan los inventarios de emisiones para enviar a la Unión Europea.

Ámbito espacial: El ámbito sería el de la región en su conjunto, el cual resulta de la suma de los valores consignados para las distintas provincias que la componen.

Disponibilidad de datos y observaciones: Los datos están disponibles en la CMA. Actualmente ésta cuenta con los datos correspondientes a 1990, 1995, 1999 y 2000. El inventario correspondiente a 2001 está a punto de terminarse. No será fácil conseguir este dato para ser incluido en el Informe de Medio Ambiente del año correspondiente, porque parecen llevar un año de retraso en la realización, pero debería intentarse.

### **Indicador nº 45: Índice anual respecto a 1990 de emisión bruta de GEI en el sector de la industria**

Definición: El indicador pretende evaluar la evolución sufrida por estas emisiones a partir de 1990, que es el periodo de referencia fijado para el establecimiento de las reducciones de emisiones y el primer año en el cual se hace el inventario. Consiste en igualar a 100 las emisiones correspondientes a 1990 y expresar las emisiones de cada año con respecto a este valor de 100.

Unidades: Tanto por ciento.

Tipo de indicador: Indicador de tendencia-presión.

Escala temporal: La escala es anual porque anualmente se realizan los inventarios de emisiones para enviar a la Unión Europea.

Ámbito espacial: El ámbito sería el de la región en su conjunto, el cual resulta de la suma de los valores consignados para las distintas provincias que la componen.

Disponibilidad de datos y observaciones: Los datos están disponibles en la CMA. Actualmente ésta cuenta con los datos correspondientes a 1990, 1995, 1999 y 2000. El inventario correspondiente a 2001 está a punto de terminarse. No será fácil conseguir este dato para ser incluido en el Informe de Medio Ambiente del año correspondiente, porque parecen llevar un año de retraso en la realización, pero debería intentarse.

### **Indicador nº 46: Índice anual respecto a 1990 de emisión bruta de GEI en disolventes**

Definición: El indicador pretende evaluar la evolución sufrida por estas emisiones a partir de 1990, que es el periodo de referencia fijado para el establecimiento de las reducciones de emisiones y el primer año en el cual se hace el inventario. Consiste en igualar a 100 las emisiones correspondientes a 1990 y expresar las emisiones de cada año con respecto a este valor de 100.

Unidades: Tanto por ciento.

Tipo de indicador: Indicador de tendencia- resultado.

Escala temporal: La escala es anual porque anualmente se realizan los inventarios de emisiones para enviar a la Unión Europea.

Ámbito espacial: El ámbito sería el de la región en su conjunto, el cual resulta de la suma de los valores consignados para las distintas provincias que la componen.

Disponibilidad de datos y observaciones: Los datos están disponibles en la CMA. Actualmente ésta cuenta con los datos correspondientes a 1990, 1995, 1999 y 2000. El inventario correspondiente a 2001 está a punto de terminarse. No será fácil conseguir este dato para ser incluido en el Informe de Medio Ambiente del año correspondiente, porque parecen llevar un año de retraso en la realización, pero debería intentarse.

### **Indicador nº 47: Índice anual respecto a 1990 de emisión bruta de GEI en agricultura**

Definición: El indicador pretende evaluar la evolución sufrida por estas emisiones a partir de 1990, que es el periodo de referencia fijado para el establecimiento de las reducciones de emisiones y el primer año en el cual se hace el inventario. Consiste en igualar a 100 las emisiones correspondientes a 1990 y expresar las emisiones de cada año con respecto a este valor de 100.

Unidades: Tanto por ciento.

Tipo de indicador: Indicador de tendencia- resultado.

Escala temporal: La escala es anual porque anualmente se realizan los inventarios de emisiones para enviar a la Unión Europea.

Ámbito espacial: El ámbito sería el de la región en su conjunto, el cual resulta de la suma de los valores consignados para las distintas provincias que la componen.

Disponibilidad de datos y observaciones: Los datos están disponibles en la CMA. Actualmente ésta cuenta con los datos correspondientes a 1990, 1995, 1999 y 2000. El inventario correspondiente a 2001 está a punto de terminarse. No será fácil conseguir este dato para ser incluido en el Informe de Medio Ambiente del año correspondiente, porque parecen llevar un año de retraso en la realización, pero debería intentarse.

#### **Indicador n° 48: Índice anual respecto a 1990 de emisión bruta de GEI en residuos**

Definición: El indicador pretende evaluar la evolución sufrida por estas emisiones a partir de 1990, que es el periodo de referencia fijado para el establecimiento de las reducciones de emisiones y el primer año en el cual se hace el inventario. Consiste en igualar a 100 las emisiones correspondientes a 1990 y expresar las emisiones de cada año con respecto a este valor de 100.

Unidades: Tanto por ciento.

Tipo de indicador: Indicador de tendencia- resultado.

Escala temporal: La escala es anual porque anualmente se realizan los inventarios de emisiones para enviar a la Unión Europea.

Ámbito espacial: El ámbito sería el de la región en su conjunto, el cual resulta de la suma de los valores consignados para las distintas provincias que la componen.

Disponibilidad de datos y observaciones: Los datos están disponibles en la CMA. Actualmente ésta cuenta con los datos correspondientes a 1990, 1995, 1999 y 2000. El inventario correspondiente a 2001 está a punto de terminarse. No será fácil conseguir este dato para ser incluido en el Informe de Medio Ambiente del año correspondiente, porque parecen llevar un año de retraso en la realización, pero debería intentarse.

#### **Indicador n° 49: Índice anual respecto a 1990 de emisión bruta total de GEI asociada a cambios en el uso del suelo**

Definición: El indicador pretende evaluar la evolución sufrida por estas emisiones a partir de 1990, que es el periodo de referencia fijado para el establecimiento de las reducciones de emisiones y el primer año en el cual se hace el inventario. Consiste en igualar a 100 las emisiones correspondientes a 1990 y expresar las emisiones de cada año con respecto a este valor de 100.

Unidades: Tanto por ciento.

Tipo de indicador: Indicador de tendencia- resultado.

Escala temporal: La escala es anual porque anualmente se realizan los inventarios de emisiones para enviar a la Unión Europea.

Ámbito espacial: El ámbito sería el de la región en su conjunto, el cual resulta de la suma de los valores consignados para las distintas provincias que la componen.

Disponibilidad de datos y observaciones: Los datos están disponibles en la CMA. Actualmente ésta cuenta con los datos correspondientes a 1990, 1995, 1999 y 2000. El inventario correspondiente a 2001 está a punto de terminarse. No será fácil conseguir este dato para ser incluido en el Informe de Medio Ambiente del año correspondiente, porque parecen llevar un año de retraso en la realización, pero debería intentarse.

## Indicador nº 50: Porcentaje del consumo de energía procedente de fuentes renovables

Definición: Es el cociente entre el consumo de energías renovables y el consumo de energía total expresado en forma de porcentaje, es decir, multiplicado por 100. Se trata en este caso de un indicador de respuesta, dado que un valor elevado en este indicador denota un esfuerzo encaminado a reducir el consumo de combustibles fósiles y, en consecuencia, a reducir también las emisiones de GEI.

Unidades: Tanto por ciento.

Tipo de indicador: Indicador de respuesta.

Escala temporal: Anual.

Escala espacial: Es un valor agregado para toda la comunidad autónoma.

[2] El Potencial de Calentamiento Global, aplicado a un GEI y expresado en función del valor para un gas de referencia (CO<sub>2</sub>), es el forzamiento radiativo acumulado desde el presente hasta un determinado momento del futuro, causado por la unidad de masa del gas emitida en el momento actual. Por su parte, el forzamiento radiativo se puede definir como el promedio del flujo neto de radiación de la tropopausa como consecuencia de cambios en la radiación solar entrante o en la radiación infrarroja saliente.

### 4.5. Contaminación atmosférica

En este epígrafe intentamos recoger información relativa a las concentraciones de las principales sustancias tóxicas de origen antrópico susceptibles de acumularse en la atmósfera.

En este caso, los valores de referencia no serán los valores normales o habituales para el período considerado, sino los umbrales críticos establecidos para estas sustancias, dado que la superación de tales umbrales es la que resulta perjudicial para la salud o para el estado del medio ambiente en general.

Durante el mes de julio de 2001 se cambiaron los criterios para el cálculo del índice de calidad del aire utilizado por la Consejería de Medio Ambiente como consecuencia de la entrada en vigor de la normativa europea. Las bases para dichos cálculos son los nuevos valores límite, aunque éstos no estén en vigor hasta el 2005 o 2010, según el contaminante.

La Directiva establece unos límites y unos márgenes de tolerancia que se reducen en el tiempo de acuerdo con la siguiente tabla y observaciones:

**Tabla 6. Umbrales establecidos por las Directiva europeas**

<i>Contaminante</i>	<i>Concentración en microgramos/m<sup>3</sup> asociada al valor del índice 100</i>	<i>Observaciones</i>
Contaminante	Concentración en micro gramos/m <sup>3</sup>	Observaciones Valor

<i>Contaminante</i>	<i>Concentración en microgramos/m<sup>3</sup> asociada al valor del índice 100</i>	<i>Observaciones</i>
SO <sub>2</sub> (1)	asociada al valor del índice 100 125	medio en 24 horas
Contaminante NO <sub>2</sub> (2)	Concentración en microgramos/m <sup>3</sup> asociada al valor del índice 100 Desde 290 en el año 2001, hasta 200 en el año 2005	Observaciones Valor medio en 1 hora
Contaminante PM <sub>10</sub>	Concentración en microgramos/m <sup>3</sup> asociada al valor del índice 100 Desde 70 en el año 2001, hasta 50 en el año 2005.	Observaciones Valor medido en 24 horas
Contaminante CO	Concentración en microgramos/m <sup>3</sup> asociada al valor del índice 100 Desde 16000 en el año 2003, hasta 10000 en el año 2005.	Observaciones Valor medido en 8 horas (móvil)(4)
Contaminante O <sub>3</sub> (3)	Concentración en microgramos/m <sup>3</sup> asociada al valor del índice 100 120	Observaciones Valor medio en 8 horas (móvil)(4)

- (1) En el caso del SO<sub>2</sub>, se tiene en cuenta, para el cálculo del índice, el valor límite medido en 24 horas que establece la Directiva 1999/30/CE. Sin embargo, siempre que se supere el valor límite horario fijado en la misma Directiva, la calidad del aire será considerada "mala", y siempre que se supere el umbral de alerta (500 mg/m<sup>3</sup>) durante tres horas consecutivas la calidad del aire será considerada "muy mala".
- (2) En el caso del NO<sub>2</sub>, se tiene en cuenta, para el cálculo del índice, el valor límite medido en 1 hora que establece la Directiva 1999/30/CE. Sin embargo, siempre que se supere el umbral de alerta (400 mg/m<sup>3</sup>) durante tres horas consecutivas, la calidad del aire será considerada "muy mala".
- (3) En el caso del O<sub>3</sub>, se tiene en cuenta, para el cálculo del índice, el valor objetivo para la protección a la salud fijado en la Propuesta de nueva Directiva sobre ozono troposférico, que es de 120 mg/m<sup>3</sup>, como valor octohorario. Siempre que se supere el valor de información a la población, valor horario de 180 mg/m<sup>3</sup>, fijado en la misma Propuesta, la calidad del aire será considerada "mala" y si se supera el umbral de alerta para la población, valor horario de 240 mg/m<sup>3</sup>, la calidad del aire se considerará "muy mala".
- (4) La media octohoraria máxima correspondiente a un día se escogerá examinando las medias móviles de ocho horas, calculadas a partir de datos horarios y que se actualizarán cada hora. Cada media octohoraria así calculada se atribuirá al día en que termine el periodo, es decir, el primer periodo de cálculo para cualquier día dado será el periodo que comience a las 17:00 de la víspera y termine a la 1:00 de ese día; el último periodo de cálculo para cualquier día dado será el que transcurra entre las 16:00 y las 24:00 de ese día.

En cada estación se calcula un índice individual para cada contaminante, conocido como índice parcial.

Se ha definido un rango cualitativo, por lo que el índice está dividido en cuatro tramos, correspondientes a los principales estados de calidad de aire: buena, admisible, mala o muy mala. A cada uno de los tramos se le asigna un color.

**Tabla 7. Rangos de calidad definidos por la CMA**

<i>Valor del índice</i>	<i>Calidad del aire</i>	<i>Color</i>
Valor del índice 0-50	Calidad del aire Buena	Color Verde
Valor del índice 51-100	Calidad del aire Admisible	Color Amarillo
Valor del índice 101-150	Calidad del aire Mala	Color Rojo
Valor del índice >150	Calidad del aire Muy mala	Color Marrón

Fuente: Consejería de Medio Ambiente.

Para poder expresar las concentraciones en función de este índice y de los umbrales establecidos, se ha creado una correspondencia entre ambos para cada contaminante.

El valor del índice es 0 cuando la concentración de contaminante es nula, asignándosele un valor de 100 cuando la concentración coincide con el valor límite fijado para cada contaminante en las citadas Directivas. El valor del índice para cualquier otro valor de concentración se obtiene por interpolación lineal.

**Tabla 8. Índice parcial para cada contaminante. Año 2001**

<i>INDICE</i>	<i>SO<sub>2</sub> (24H) (mg/m<sup>3</sup>)</i>	<i>PARTICULAS (24 H) (mg/m<sup>3</sup>)</i>	<i>NO<sub>2</sub> (1H MÁX) (mg/m<sup>3</sup>)</i>	<i>CO (8H MÓVIL MÁX) (mg/m<sup>3</sup>)</i>	<i>O<sub>3</sub> (8H MÓVIL MÁX) (mg/m<sup>3</sup>)</i>
0-50	63	35	145	8000	60
51-100	125	70	290	16000	120
101-150	188	105	435	24000	180
>150	>188	>105	>435	>24000	>180

Fuente: Consejería de Medio Ambiente.

**Indicador nº 51: Inmisión de contaminantes (Global): % de días calificados como de calidad mala o muy mala.**

A partir de los índices parciales se obtiene el índice global que coincide con el índice parcial del contaminante que presente el peor comportamiento. De este modo, existe un índice global para cada estación.

Definición: El indicador propuesto es el porcentaje de días catalogados como de calidad admisible, mala o muy mala para el conjunto de los contaminantes medidos en la estación.

Unidades: Tanto por ciento.

Tipo de indicador: Indicador de estado.

Escala temporal: Se recomienda la realización del índice a escala mensual, aunque luego podría agregarse a escala anual con el mismo procedimiento de obtención.

Ámbito espacial: Se recomienda la realización del indicador en los distintos observatorios de la red y su posterior agregación a nivel regional. Para esta agregación se proponen 3 nuevos indicadores:

- 51a. Porcentaje medio regional de días con calidad mala o muy mala. Sería la media aritmética de los porcentajes obtenidos en los observatorios individuales.
- 51b. Porcentaje máximo regional de días con calidad mala o muy mala. Sería el porcentaje más alto registrado en la región.
- 51c. Porcentaje de observatorios, respecto al total de observatorios de la región, con algún día catalogado como de calidad mala o muy mala.

Disponibilidad de datos: Los datos serían los aportados por la red de control y vigilancia de la calidad del aire de Andalucía, de la Consejería de Medio Ambiente.

### **Indicador nº 52: Inmisión de ozono troposférico (O3): % de días calificados como de calidad mala o muy mala.**

El ozono troposférico constituye uno de los principales protagonistas de la denominada contaminación fotoquímica. En ella, determinados contaminantes primarios (dióxido de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles), con la intervención de la radiación solar, se transforman en compuestos secundarios oxidantes muy tóxicos para el hombre y para el medio en general. Sus concentraciones están determinadas por las emisiones de los contaminantes primarios, pero también por las condiciones atmosféricas, en especial las condiciones de exposición a la radiación solar, lo que determina que los valores máximos de concentración de ozono troposférico se registren en las horas centrales del día. Asimismo, es frecuente que estos valores máximos se produzcan en las áreas periurbanas y no en las urbanas propiamente dichas, de ahí que se intente en los últimos años la adaptación de la red de observaciones a esta realidad, incrementando los observatorios periurbanos.

Definición: El indicador propuesto es el porcentaje de días catalogados como de calidad mala o muy mala (es decir media octohoraria máxima de ozono por encima de 120 mg/m<sup>3</sup>).

Unidades: Tanto por ciento.

Tipo de indicador: Indicador de estado.

Escala temporal: Se recomienda la realización del índice a escala mensual, aunque luego podría agregarse a escala anual con el mismo procedimiento de obtención.

Ámbito espacial: Se recomienda la realización del indicador en los distintos observatorios de la red y su posterior agregación a nivel regional. Para esta agregación se proponen 3 nuevos indicadores:

- 52a. Porcentaje medio regional de días con calidad mala o muy mala. Sería la media aritmética de los porcentajes obtenidos en los observatorios individuales.

- 52b. Porcentaje máximo regional de días con calidad mala o muy mala. Sería el porcentaje más alto registrado en la región.
- 52c. Porcentaje de observatorios, respecto al total de observatorios de la región, con algún día catalogado como de calidad mala o muy mala.

Disponibilidad de datos: Los datos serían los aportados por la red de control y vigilancia de la calidad del aire de Andalucía, de la Consejería de Medio Ambiente.

**Indicador nº 53: Inmisión de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>): % de días calificados como de calidad mala o muy mala.**

El SO<sub>2</sub>, al igual que las partículas, proviene de la combustión del carbón y de los carburantes ricos en azufre y, en este sentido, la producción de energía eléctrica y la calefacción doméstica, típicas de las ciudades (sobre todo de climas fríos), constituyen importantes fuentes de emisión. Es un compuesto altamente soluble y, en consecuencia, es absorbido en los conductos húmedos del sistema respiratorio superior, lo que le confiere una alta toxicidad.

Definición: El indicador propuesto es el porcentaje de días catalogados como de calidad admisible, mala o muy mala (es decir un valor medio en 24 horas superior a 125 mg/m<sup>3</sup>).

Unidades: Tanto por ciento.

Tipo de indicador: Indicador de estado.

Escala temporal: Se recomienda la realización del índice a escala mensual, aunque luego podría agregarse a escala anual con el mismo procedimiento de obtención.

Ámbito espacial: Se recomienda la realización del indicador en los distintos observatorios de la red y su posterior agregación a nivel regional. Para esta agregación se proponen 3 nuevos indicadores:

- 53a. Porcentaje medio regional de días con calidad mala o muy mala. Sería la media aritmética de los porcentajes obtenidos en los observatorios individuales.
- 53b. Porcentaje máximo regional de días con calidad mala o muy mala. Sería el porcentaje más alto registrado en la región.
- 53c. Porcentaje de observatorios, respecto al total de observatorios de la región, con algún día catalogado como de calidad mala o muy mala.

Disponibilidad de datos: Los datos serían los aportados por la red de control y vigilancia de la calidad del aire de Andalucía, de la Consejería de Medio Ambiente.

**Indicador nº 54: Inmisión de óxidos de nitrógeno (NO<sub>2</sub>): % de días calificados como de calidad mala o muy mala.**

Los óxidos de nitrógeno se producen esencialmente a partir de la combustión de nitrógeno y de oxígeno durante procesos que se realizan a altas temperaturas. De ellos, el más tóxico es el dióxido de nitrógeno, que penetra en los pulmones e irrita los alvéolos, produciendo síntomas similares a los de un enfisema pulmonar. Su alta toxicidad determina su abundante y frecuente medición y aconseja su consideración especial en la elaboración de los indicadores relativos a este tipo de contaminantes.



Definición: El indicador propuesto es el porcentaje de días catalogados como de calidad mala o muy mala (es decir valor máximo en 1 hora por encima de 290 mg/m<sup>3</sup>).

Unidades: Tanto por ciento.

Tipo de indicador: Indicador de estado.

Escala temporal: Se recomienda la realización del índice a escala mensual, aunque luego podría agregarse a escala anual con el mismo procedimiento de obtención.

Ámbito espacial: Se recomienda la realización del indicador en los distintos observatorios de la red y su posterior agregación a nivel regional. Para esta agregación se proponen 3 nuevos indicadores:

- 54a. Porcentaje medio regional de días con calidad mala o muy mala. Sería la media aritmética de los porcentajes obtenidos en los observatorios individuales.
- 54b. Porcentaje máximo regional de días con calidad mala o muy mala. Sería el porcentaje más alto registrado en la región.
- 54c. Porcentaje de observatorios, respecto al total de observatorios de la región, con algún día catalogado como de calidad mala o muy mala.

Disponibilidad de datos: Los datos serían los aportados por la red de control y vigilancia de la calidad del aire de Andalucía, de la Consejería de Medio Ambiente.

#### **Indicador nº 55: Inmisión de partículas: % de días calificados como de calidad mala o muy mala.**

Las partículas, al igual que el SO<sub>2</sub>, provienen de la combustión del carbón y de los carburantes ricos en azufre y, en este sentido, la producción de energía eléctrica y la calefacción doméstica, típicas de las ciudades (sobre todo de climas fríos), constituyen importantes fuentes de emisión. En ambos casos se trata de contaminantes primarios muy presentes en los ámbitos urbanos, que suelen venir asociados y que resultan especialmente dañinos precisamente por esa asociación. Así, se sabe que la reacción irritante debida al SO<sub>2</sub> se triplica o cuadruplica en presencia de partículas, lo cual podría ser imputable a la capacidad que tienen éstas de transportar el SO<sub>2</sub> hasta el fondo de los pulmones.

Definición: El indicador propuesto es el porcentaje de días catalogados como de calidad mala o muy mala (es decir valor medio de partículas registrado en 24 horas por encima de 70 mg/m<sup>3</sup>).

Unidades: Tanto por ciento.

Tipo de indicador: Indicador de estado.

Escala temporal: Se recomienda la realización del índice a escala mensual, aunque luego podría agregarse a escala anual con el mismo procedimiento de obtención.

Ámbito espacial: Se recomienda la realización del indicador en los distintos observatorios de la red y su posterior agregación a nivel regional. Para esta agregación se proponen 3 nuevos indicadores:

- 55a. Porcentaje medio regional de días con calidad mala o muy mala. Sería la media aritmética de los porcentajes obtenidos en los observatorios individuales.
- 55b. Porcentaje máximo regional de días con calidad mala o muy mala. Sería el porcentaje más alto registrado en la región.
- 55c. Porcentaje de observatorios, respecto al total de observatorios de la región, con algún día catalogado como de calidad mala o muy mala.

Disponibilidad de datos: Los datos serían los aportados por la red de control y vigilancia de la calidad del aire de Andalucía, de la Consejería de Medio Ambiente.

### **Indicador nº 56: Inmisión de monóxido de carbono (CO): % de días calificados como de calidad mala o muy mala.**

El monóxido de carbono se genera durante las combustiones, siendo su principal fuente de emisión los tubos de escape de los automóviles. Su toxicidad se deriva de su carácter relativamente insoluble, que le permite acceso fácil a los alvéolos pulmonares, donde compite con el oxígeno por el enlace con las células de hemoglobina encargadas de transportar el oxígeno al organismo. En consecuencia, su presencia reduce la oxigenación de las células.

Definición: El indicador propuesto es el porcentaje de días catalogados como de calidad mala o muy mala (es decir media octohoraria máxima de CO por encima de 16000 mg/m<sup>3</sup>).

Unidades: Tanto por ciento.

Tipo de indicador: Indicador de estado.

Escala temporal: Se recomienda la realización del índice a escala mensual, aunque luego podría agregarse a escala anual con el mismo procedimiento de obtención.

Ámbito espacial: Se recomienda la realización del indicador en los distintos observatorios de la red y su posterior agregación a nivel regional. Para esta agregación se proponen 3 nuevos indicadores:

- 56a. Porcentaje medio regional de días con calidad mala o muy mala. Sería la media aritmética de los porcentajes obtenidos en los observatorios individuales.
- 56b. Porcentaje máximo regional de días con calidad mala o muy mala. Sería el porcentaje más alto registrado en la región.
- 56c. Porcentaje de observatorios, respecto al total de observatorios de la región, con algún día catalogado como de calidad mala o muy mala.

Disponibilidad de datos: Los datos serían los aportados por la red de control y vigilancia de la calidad del aire de Andalucía, de la Consejería de Medio Ambiente.

## 5. Referencias bibliográficas

AEMA (1999): Indicadores ambientales: Tipología y descripción. Informe técnico nº 25. Copenhague. 18 p.

AEMA (2002): Señales medioambientales 2002. Resumen. Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas, Luxemburgo, 27 p.

AEMA (2001): TERM 2000. ¿Vamos en la dirección correcta? Indicadores sobre la integración del transporte y el medio ambiente en la Unión Europea. Resumen. Copenhague, 31 p.

AEMA (2001): TERM 2001. Indicators tracking transport and environment integration in the European Union, Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas, Luxemburgo, 60 p.

AEMA (2002): TERM 2002. Paving the way for EU enlargement. Indicators of transport and environment integration. Environmental issue report No 32, Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas, Luxemburgo, 64 p.

AEMA (2002): Energy and environment in the European Union. Environmental issue report No 31. Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas, Luxemburgo, 68 p.

CADARSO GONZÁLEZ, F (1999): Líneas de trabajo en relación con los indicadores ambientales. La red EIONET en España. Ponencia presentada en las Jornadas sobre Estadística Pública y Medio Ambiente, Sanlúcar de Barrameda, 1999.

CENDRERO UCEDA, A. (1999): Indicadores e índices ambientales para la medición de cambios y la evaluación de la calidad ambiental; GTOS y ELANEM. Ponencia presentada en las Jornadas sobre Estadística Pública y Medio Ambiente, Sanlúcar de Barrameda, 1999.

EUROPEAN COMMISSION: Communication from the Commission to the Council and the European Parliament on “Directions for the EU on Environmental Indicators and Green National Accounting”. The Integration of Environmental and Economic Information Systems. Diario Oficial, COM (94) 670. Final. 21-12-94. Bruselas.

MANTEIGA, L. (1999): Los indicadores ambientales como instrumento para el desarrollo de la política ambiental y su integración en otras políticas. Ponencia presentada en las Jornadas sobre Estadística Pública y Medio Ambiente, Sanlúcar de Barrameda, 1999.

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, (2001): Medio Ambiente en España, 2000. MIMAM, Madrid, p. 29-35 y 231-236.

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental (1996): Indicadores ambientales. Una propuesta para España, MIMAM, Madrid, 146 p.

OCDE (2001): Key environmental indicators. OCDE, París.

OCDE (1997): OCDE environmental performance reviews. a practical introduction. OCDE, París.

OCDE (1993): Corps central d'indicateurs de l'OCDE pour les examens des performances environnementales. Monographies sur l'environnement, n° 83, Paris, 1993.

OCDE (1991): Environmental indicators. A preliminary set. OCDE, París.

OCDE: Hojas de metodología. Indicadores de los aspectos ambientales del desarrollo sostenible. Capítulos 9, 10, 12 y 18. OECD, París.

PALMER (1965): Meteorological drought, U.S. Weather Bureau, Washington D.C., Research Paper n° 45.

PITA (1995): Las sequías: análisis y tratamiento, Sevilla, Junta de Andalucía, Consejería de Medio Ambiente.

RONCONI, M. (1999): Las estadísticas regionales del medio ambiente: el proyecto de Eurostat. Ponencia presentada en las Jornadas sobre Estadística Pública y Medio Ambiente, Sanlúcar de Barrameda, 1999.

SEOÁNEZ CALVO, M. (2001): Tratado de Climatología Aplicada a la Ingeniería Medioambiental. Análisis climático. Uso del análisis climático en los estudios medioambientales. Mundi Prensa, Madrid, p. 513-517.

### **Recursos electrónicos**

Muchos de estos documentos están disponibles en los portales de la Unión Europea y de la OCDE en las direcciones siguientes:

<http://europa.eu.int/>

<http://www.oecd.org/>

### **Otros sitios de interés:**

Comisión de Desarrollo Sostenible de la ONU:

<http://www.un.org/spanish/esa/sustdev/csd.htm>