TEMA 3: LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS EN LA INVESTIGACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos 30 años, el ordenador se ha convertido en una herramienta de uso general, con aplicaciones en todos los campos. El ordenador se emplea tanto para usos informáticos como telemáticos o de comunicación a distancia a través del ordenador.

El acceso a Internet, la telefonía móvil y la contribución aportada por los satélites han conseguido una notoria reducción del tiempo empleado en las comunicaciones y un acercamiento entre espacios geográficamente muy distantes, lo que crea nuevas oportunidades de trabajo, colaboración y desarrollo humano, y ha aportado nuevas maneras con las que entender mejor el funcionamiento del medio ambiente. Además, el acceso a Internet ha permitido la elaboración de nuevos métodos de cooperación internacional y la creación de comunidades virtuales de trabajo, usando las nuevas comunicaciones como son la Web, el e- mail y las redes sociales, que han hecho posible la interconexión y colaboración de múltiples grupos de personas de todo el planeta y la creación de foros de discusión.

Las posibilidades de los sistemas telemáticos se han ampliado de forma muy notoria en los últimos años con la creación de las videoconferencias, que permite la telepresencia, el teletrabajo corporativo y las redes de servicio, con lo que se refuerza el trabajo en equipo. Todo esto se le ha denominado Web 2.0, en la cual las aplicaciones y servicios se han centrado más en las personas que en los ordenadores.

En la actualidad solo una minoría de los habitantes del planeta dispone de estos avances. El 79% de los usuarios de Internet se concentra en los núcleos urbanos de las grandes ciudades de los países desarrollados, que supone solo el 14% de la población mundial, es decir, una minoría privilegiada. La posibilidad de acceso a estas tecnologías por parte de los países menos desarrollados contribuiría al alcance del nivel de desarrollo que necesitan.

2. SISTEMAS INFORMÁTICOS Y SIMULACIÓN MEDIOAMBIENTAL

Las principales tecnologías empleadas en los estudios del medio ambiente son los sistemas informáticos, la teledetección, los GPS, los SIG y otros sistemas telemáticos.

Vamos a ver ahora los dos modelos del mundo encargados por el club de Roma (organización formada por centenares de personalidades que en 1968 decidieron poner en marcha un proyecto sobre la Condición humana, con el fin de examinar el vasto conjunto de problemas que preocupan a la humanidad y así poder aportar soluciones dentro de un marco global), que fueron pioneros en aplicar la simulación a los estudios del medio ambiente: World-2 y World- 3. Ambos se basan en explicar de forma global el funcionamiento del mundo.

2.1. WORLD- 2

Fue desarrollado por Jay Forrester. Se basa en la dinámica de sistemas. Los elementos o variables que determinan el comportamiento del mundo son cinco:

- **Población:** No puede estar más claro el significado de esta variable: pretende representar el número de habitantes de la Tierra. Como valor inicial toma la población mundial en el año 1900, es decir, 1.650 millones.
- **Capital invertido**: Para representar la acumulación de capital, teniendo en cuenta cómo se genera y se deprecia. Se mide en unidades de capital y se supone que la inversión de capital per cápita en el año 1900 era 1/4 de unidad respecto a una unidad en el año 1970. Así, el valor inicial del capital invertido es $4 \cdot 10^8$ unidades.
- **Recursos naturales:** en este nivel, se incluyen las materias primas y los fondos de energías no renovables. Se asigna una unidad de recursos naturales per cápita para el año 1970. Los recursos naturales sólo pueden disminuir y el modelo estima que, si se mantiene el ritmo de consumo, se agotarán transcurridos 250 años. Como la población alcanza 3.600 millones de habitantes el año 1970, al multiplicar por 250 años, obtenemos el valor inicial de 9·1011 unidades de recursos.
- **Alimentos producidos:**
- **Contaminación:** Se pretende representar el nivel de contaminación activa en el medio ambiente entre su generación y su disipación. Como valor inicial se toma

para 1900 la fracción 1/8 de la contaminación per cápita en 1970, resultando $0'125 \cdot 1'6 \cdot 10^9 = 2 \cdot 10^8$ unidades de contaminación.

Al simular con ayuda de ordenador su comportamiento o evolución futura (desde 1900 a 2100) se expusieron unas conclusiones, recogidas en el informe *Los límites del crecimiento*, en las que se determinó que no podemos mantener por un tiempo indefinido nuestro actual ritmo de crecimiento (en tanto que hablamos de población como de economía).

Al realizar modificaciones en los diferentes valores de las variables iniciales, se constató que el escenario a partir del cual se podría conseguir la estabilización del sistema era aquel que se partía de una serie de reducciones en todos los parámetros inciales: 50% T. N, 75% tasa de consumo de recursos naturales, 25% en la cantidad de alimentos producidos, 50% en la tasa de contaminación y 40% en la tasa de inversión de capital.

2.2. WORLD- 3

Fue desarrollado con posterioridad por Dennis y Donatella Meadows y otros discípulos de Forrester y con el trataron de perfeccionar y enriquecer el modelo anterior.

En la siguiente figura se puede observar diferentes trayectorias que representan los principales comportamientos de una población en respuesta a distintos escenarios, simulados en función de las diferentes decisiones políticas respecto a la tasa de consumo de recursos naturales.

Sus conclusiones, recogidas en el informe *Más allá de los límites del crecimiento*, fueron las siguientes:

1. *Si se continua con la tendencia actual de crecimiento de la población mundial, la industrialización, la contaminación, la producción de alimentos y el consumo de recursos, los límites del planeta se alcanzarán dentro de los próximos cien años.* Resultado más probable será un declive incontrolado tanto de la población como de la capacidad industrial. Será más inmediato si se parte de un escenario en le que se duplica la cantidad de recursos, en lo que se observa el comportamiento antiintuitivo, porque la población decae aún más rápida. Si se quiere estabilizar no hay que ir a las causas superficiales, sino que hay que hacer un control de todas las variables.

2. *Es posible modificar las tendencias de crecimiento y establecer unas normas de estabilidad ecológica y económica, que pueden ser mantenidas por mucho tiempo de cara al futuro.*
3. *Si los pueblos de la Tierra se deciden por esta segunda alternativa y no por la primera, cuanto antes se empiece a trabajar a favor de ella mayores serán sus posibilidades de éxito.*

Tras la aparición de estos modelos, rápidamente comenzaron a surgir múltiples análisis y críticas:

- Mayoría de los críticos acusan al modelo de maltusiano, término que se traduce en culpar al incremento de la población, de forma desmedida, de todos los problemas ambientales. Esto afecta más a los países del Sur. Pero hay que ver que los países del Norte son los que más recursos por persona consumen y los que más problemas ambientales generan.
- Se trata solo de modelos, por lo que no representan la realidad, sino una visión simplificada de la misma. No representa la evolución real del mundo, sino ciertas tendencias en el comportamiento.

A pesar de estas críticas, nadie hoy en día discute de estos modelos, ya que han servido como señal de alarma sobre la necesidad de un enfoque global para atajar los graves problemas ambientales.

Fueron los primeros en elaborar con modelos basados en datos de la realidad. Son precursores de los indicadores PER.

3. SISTEMAS DE TELEDETECCIÓN

La teledetección es la técnica que permite la observación a distancia y la obtención de imágenes de la superficie terrestre desde sensores instalados en aviones o en satélites artificiales.

3.1. COMPONENTES DE UN SISTEMA DE TELEDETECCIÓN

- Sensor: Es una especie de cámara situada en un avión o en un satélite, que es capaz de captar, codificar y transmitir las imágenes de la superficie terrestre. Los satélites, gracias a sus sensores, pueden tomar imágenes de áreas muy extensas de la superficie terrestre. Se pueden conseguir en un tiempo muy breve la toma de imágenes de toda la superficie de la tierra.

- Flujo de energía detectada por los sensores: Según la dependencia de la energía que obtienen los sensores, tenemos:
    - Sensores pasivos: Flujo de energía externo a ellos, por lo que su comportamiento es similar al de una cámara de fotos que aprovecha la luz del sol. Dichas energías pueden proceder:
        - Del Sol: Energía solar incide en la superficie de la tierra y esta refleja parte que la aprovecha el sensor.
        - De los elementos situados sobre la superficie terrestre: Estos elementos pueden emitir energía aprovechable por el sensor.
    - Sensores activos: Estos sensores emiten un tipo de radiación y captan el reflejo de la misma por parte de la superficie terrestre.
- Centro de recepción: La imagen tomada por los sensores se transmite a tierra en forma de unas señales o códigos constitutivos por números o dígitos; es decir, se trata de una información digital que se recoge con ayuda de una antena, siempre que ésta se encuentre dentro del radio de acción del satélite. En el centro de recepción se procesa y se corrige la información digital, que suele contener imperfecciones. Otro objetivo de esta fase es destacar aquellos elementos que se consideren más relevantes en cada caso, para que sea posible una visualización más rápida y precisa de los mismos. Una vez procesadas, ya están listas para ser distribuidas a los interesados, tanto en formato digital como analógico o visual.
- Sistema de distribución: Suele ser de tipo telemático, a partir del cual los usuarios tienen acceso a la información recogida para interpretarla, utilizarla y extraer las conclusiones derivadas de la misma.

3.2. EMPLEO DE LA TELEDETECCIÓN

La teledetección es un método que aporta datos sobre el territorio de una forma más exacta, rápida y fiable que los métodos tradicionales. Además, se puede obtener un gran número de imágenes de amplias áreas terrestres, incluso de las más inaccesibles. Permite la observación periódica, la detección de las variaciones entre dos pasadas y el establecimiento de comparaciones.

Las aplicaciones medioambientales de la teledetección son muy numerosas, de entre ellas destacamos:

- Para cartografías del relieve y sus formas.

- Para predicciones meteorológicas y climáticas: tormentas, huracanes, gota fría, olas de frío, calor. Para el seguimiento del cambio climático del agujero de la capa de ozono y del fenómeno de El Niño.
- Para la ordenación del territorio, para la planificación de los usos del suelo.
- Para poder observar el avance y retroceso de los hielos o de los desiertos.
- En la predicción y prevención de los desastres naturales: volcanes, terremotos, inundaciones o movimientos de ladera.
- En la evaluación del estado de los recursos hídricos, forestales, pesqueros y minerales.
- En la agricultura. Para evaluar el grado de deterioro del suelo, los procesos de erosión/desertización; los daños en los cultivos por plagas o granizo; para predicciones sobre las cosechas y sobre los riesgos de sequías o incendios.
- Para detectar impactos derivados de los usos del suelo, como los debidos a asentamientos urbanos y la construcción de infraestructuras, la desecación de zonas húmedas, los incendios forestales, las explotaciones mineras, la contaminación y eutrofización de las aguas, la contaminación del aire, las mareas negras, etc.

3.3. RADIACIONES ELECTROMAGNÉTICAS EMPLEADAS EN LA TELEDETECCIÓN

No todas las radiaciones electromagnéticas consiguen alcanzar la superficie terrestre. Por lo tanto, solo nos interesa para la teledetección aquella región del espectro electromagnético que no haya sido absorbida por la atmósfera. A estas regiones del espectro se le denominan ventanas atmosféricas y son la visible, el infrarrojo (IR) y las microondas.

3.4. IMÁGENES OBTENIDAS MEDIANTE LA TELEDETECCIÓN

3.4.1. CARACTERÍSTICAS DE LAS IMÁGENES DIGITALES

Llamamos píxel (acrónimo de picture element) a la superficie mínima detectada sobre el terreno y que se corresponde con cada una de las celdillas o unidades mínimas de información en las que se divide una imagen. Se expresa mediante un valor numérico, indicado por una cifra o digito, que se corresponde con un tono de gris concreto.

3.4.2. RESOLUCIÓN DE UN SENSOR

Se denomina resolución de un sensor a una medida de su capacidad para discriminar los detalles. Vamos a diferenciar entre varios tipos de resolución:

- Espacial: Se refiere al tamaño del píxel y representa el área menor que puede distinguirse de su entorno. Así, la resolución espacial de los sensores es variable.
- Temporal: Es la frecuencia con la que se actualizan los datos en un sensor.
- Radiométrica: Es la capacidad para discriminar las variaciones de intensidad de la radiación emitida por los objetos y se mide por la cantidad total de niveles o tonos diferentes de gris que posee una imagen.
- Espectral: Se refiere a la distribución o espectro de longitudes de onda o diferentes bandas en las que es capaz de medir.

3.4.3. OBTENCIÓN DE IMÁGENES EN COLOR

Antes de la fotografía digital, para transformar en color una película en blanco y negro se utilizaban unas emulsiones especiales. A partir de la década de los 70, comenzó el procesado digital a través de ordenador, lo que hizo que fuera más rápida, más exacta, con un mayor nº de colores y más fácilmente manipulables. Así un color no es más que la combinación de 3 imágenes tomadas en 3 bandas espectrales.

En los sensores multibanda existen múltiples combinaciones posibles de 3 bandas diferentes, por lo que muchas de las imágenes obtenidas suelen tener un colorido muy extraño para nuestros ojos.

En función de la combinación de las bandas que elijamos, podemos obtener imágenes:

- Color natural o RGB= 3 2 1: Se toman las tres imágenes en gris correspondientes a las bandas 3 2 1 y se les aplica el color de la siguiente forma:
    - A cada píxel de la imagen obtenida a través de la banda 3, le otorgamos el color rojo, cuya intensidad está determinada por el tono gris que posea.
    - A cada píxel de la imagen obtenida a través de la banda 2, le otorgamos el color verde, cuya intensidad está determinada por el tono gris que posea.
    - Y a cada píxel de la imagen obtenida a través de la banda 1, le otorgamos el color azul, cuya intensidad está determinada por el tono gris que posea.

Cada píxel de imagen resultante tendrá un color que va a depender de la combinación de los tres anteriores, por lo que quedará definido por tres dígitos, tantos como colores empleados para generarlo: los valores están comprendidos entre el 0 y el 255.

El total de colores diferentes que puede contener la imagen resultante es de 256^3= 16777216.

- Falso color: Hay muchas posibilidades: RBG= 432 (detectar masas vegetales), RGB= 754 (discriminar zonas quemadas), RGB= 742 (discriminar zonas urbanas), RGB 743 (evaluación de las zonas encharcadas durante las inundaciones o detectar zonas de regadío).

3.5. ADQUISICIÓN DE DATOS EN TELEDETECCIÓN

3.5.1. ÓRBITAS DE LOS SATÉLITES

Las orbitas descritas por los satélites de teledetección pueden ser:

- Geoestacionaria: El movimiento de los satélites está sincronizado con el de rotación de la Tierra, por lo que parecen inmóviles y siempre observan la misma zona. Sin embargo al estar a una gran altitud, las imágenes que toman abarcan áreas muy amplias. Son muy útiles para la observación de fenómenos globales y proporcionan una gran resolución temporal.
- Polar: La órbita que describen es circular. Es perpendicular al plano del ecuador terrestre. Son móviles, es decir, observan diferentes áreas de la superficie terrestre. El área de barrida es menor debido a que están a menos altitud. Tienen mejor resolución espacial, por lo que se pueden apreciar mejor los detalles.

3.5.2. SENSORES DE BARRIDO MULTIESPECTRAL

El barrido es el mecanismo de teledetección más habitual, y es llevado a cabo por unos sensores pasivos dotados de sistemas óptico- electrónicos, que actúan como escáneres realizando un rastreo minucioso y sucesivo de cada parcela del terreno con el fin de recoger las radiaciones visibles e infrarrojas reflejadas por las diferentes cubiertas del suelo, que son captadas mediante un espejo.

Posteriormente, al pasar a través de un prisma óptico, las citadas radiaciones son separadas en las distintas longitudes de onda, cada una de las cuales es enviada hacia el

sensor correspondiente. Los detectores situados en la superficie del sensor convierten la señal analógica en eléctrica. En el interior del sensor, cada señal eléctrica se transforma en un valor numérico, que puede almacenarse o transmitirse a los receptores situados en la superficie terrestre.

3.5.3. SENSORES DE MICROONDAS

Estos sensores trabajan en la zona del espectro del microondas. Los sensores más conocidos son los activos, pero también existe los pasivos.

- Sensores pasivos: Son radiómetros microondas. Su misión es captar las radiaciones microondas emitidas por la superficie terrestre, que suelen ser difícilmente perceptibles. Sin embargo, la nieve y el hielo son perceptibles, ya que la emisión de microondas incrementa al disminuir la temperatura. Es muy útil para detectar movimientos de icebergs, así como para cartografiar zonas de hielo.
- Sensores activos: Los radar (radio detection and ranging) emiten microondas y recogen y valoran su señal de retorno y tiempo que tarda en volver de nuevo al sensor. Uno de los usos más importantes es el radar de apertura sintética, capaz de lanzar sobre su objetivo 1700 impulsos por segundo, lo que nos da una mayor resolución que los radares convencionales.

La imagen de los sensores de radar suele estar distorsionada porque, al incidir sobre la superficie, las microondas se dispersan de manera muy distinta según la naturaleza de las superficies, dando lugar a señales de retorno muy diversas, de lo que resulta una gran variedad de tonos de gris.

En general, cuanto mayor sea la cantidad de la radiación reflejada por un objeto, menos cantidad de la misma volverá, por lo que el píxel resultante será de un color más oscuro. Esto es lo que ocurre en las superficies lisas, que se comportan de forma similar a un espejo, reflejando las radiaciones recibidas, por lo que se ven de color negro.

Por el contrario, cuanto más seca y rugosa sea una superficie, mayor la dispersión de las ondas en todas las direcciones, volviendo más de ellas al sensor, con lo que el píxel será de un gris más claro.

Sin embargo, la señal recogida depende de otros factores, como la distancia entre la superficie de estudio y el sensor, de la trayectoria de este último y de la topografía del terreno.

El tono de gris de los píxeles disminuye progresivamente al hacerlo el ángulo de incidencia de la radiación procedente del sensor. Esto suele ocurrir en zonas de gran pendiente, por lo que es útil en cartografía.

- Imágenes espectroscópicas: Se pueden realizar tanto desde un avión como desde un satélite. Se realizan dos tomas del mismo territorio, en dos pasadas distintas y con diferente ángulo de incidencia. Actualmente se consiguen imágenes espectroscópicas de una gran calidad. (imágenes pág 77)
- Radarmetría: Se basa en aprovechar las ventajas de los altímetros que poseen los sensores radar para la representación topográfica del terreno. Las imágenes está constituida por una secuencia formada por una serie de bandas coloreadas, a intervalos de altitud regulares. A partir de estas se pueden generar modelos digitales de elevaciones (DEM). (imagen de Hawai pág 77)
- Imágenes anaglíficas: Anaglifo es la superposición de imágenes, una en rojo y otra en azul, que, al ser miradas con lentes especiales, producen una sensación de relieve. Para ver estas imágenes hay que utilizar gafas 3D.
- Interferometría: Es la realización de dos imágenes distintas de un mismo lugar, tomadas por los sensores de interferometría de radar en dos pasadas realizadas en días diferentes. Se registran las variaciones en la topografía que hayan tenido lugar como consecuencia de algún movimiento en el terreno en secuencias marcadas mediante una serie de bandas coloreadas situadas a intervalos de altitud regulares.

3.5.4. SENSORES LÍDAR

Su funcionamiento se basa en que el sensor emite un pulso de láser, en ondas visibles o en infrarrojos, que choca contra los contaminantes o el polvo atmosférico, dispersándose y retornando de nuevo al sensor. La energía de retorno es recogida por un telescopio, transmitida a un foto- detector, grabada y almacenada en un ordenador. Se emplea en la detección de la contaminación del aire. Cada contaminante se detecta por el tiempo transcurrido desde la emisión del pulso hasta la señal de retorno. Se ha de elegir bien el pulso para detectar bien los contaminantes. Con ello se puede hacer un mapa de la concentración de estos gases y ver sus focos de emisión.

4. SISTEMAS GLOBALES DE NAVEGACIÓN POR SATÉLITE (GNSS)

Son conjuntos de satélites artificiales lanzados al espacio con el objeto de determinar las coordenadas geográficas de un punto cualquiera del planeta. Resultan útiles para el transporte por tierra, la navegación, el control del tráfico aéreo, el rescate de personas durante desastres, etc.

El sistema GPS, diseñado por EE. UU, es una red de 27 satélites que orbitan alrededor de la tierra a 20200 km de altitud. Se diseño para fines militares, aunque actualmente también tiene aplicaciones civiles y su uso se ha generalizado y popularizado enormemente.

Cada aparato receptor, también llamado GPS capta las señales procedentes de al menos tres de los satélites y, por triangulación, nos permite conocer datos sobre la latitud y la longitud de cualquier punto geográfico donde nos encontremos con una precisión de ± 1 m, cada 15 segundos. También son capaces de determinar la velocidad y la dirección en la que nos movemos.

GLONASS es el acrónimo ruso que designa el Sistema Global de Navegación por Satélite de la Federación Rusa. Consta de 24 satélites dispuestos en tres órbitas de 8 satélites cada una, situados a 19100 km de altitud.

En 2005, la UE inició el lanzamiento de un sistema global de navegación por satélite llamado Galileo, como alternativa al GPS y al GLONASS ruso, cuyo origen es militar. Es una flota de 30 satélites en tres órbitas con una inclinación de 56º y se encuentran a una altitud de 23000 km.

5. SISTEMAS TELEMÁTICOS APOYADOS EN LA TELEDETECCIÓN

5.1. LOS SIG

Un SIG es un programa de ordenador que contiene un conjunto de datos especiales de la misma porción de un territorio organizado de forma geográfica.

Los SIG están destinados a almacenar, representar gráficamente, manipular y gestionar una información sobre el territorio. Dicha información se guarda en formato digital y se puede transformar en visual mediante el uso del ordenador, debiendo ser actualizada con frecuencia y estar disponible para ser usada por los interesados, por lo que se trata de un sistema telemático.

SIG de dominio público: Google Earth, GMES (UE), CORINE (UE), SIG de uso del territorio (UE) y SIG planificador agrícola.

5.2. SISTEMAS TELEMÁTICOS DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL

El tiempo atmosférico es muy cambiante de un día para otro, por lo que las previsiones sobre el mismo resultan extremadamente difíciles. Sin embargo, la tecnología puede ayudar a que estas sean cada día más precisas.

Actualmente se trabaja mucho en este campo con el fin de predecir situaciones que puedan suponer un riesgo y otros problemas ambientales relacionados con el clima.

Para abarcar estos temas, se ha puesto de manifiesto la necesidad de una cooperación internacional. Así nació la WMO en 1950, que puso en marcha el sistema de Vigilancia Meteorológica Mundial en 1968. Este sistema cuenta con equipos de teledetección por satélite; estaciones meteorológicas terrestres y marinas; un sistema de telecomunicaciones entre todas ellas y varios centros de recepción, en los que los datos se analizan, se procesan y se retransmiten a los distintos Centros Meteorológicos Nacionales.