

Gestión de la información ambiental en los espacios protegidos y en las redes de seguimiento del cambio global

F.J. Bonet ¹, I. San Gil ²

(1) Grupo de Ecología Terrestre, Departamento de Ecología, Centro Andaluz de Medio Ambiente, Universidad de Granada - Avda. del Mediterráneo S/N. 18006. Granada. España.

(2) Long Term Ecological Research Network Office, Department of Biology, MSC03 2020 University of New Mexico, USA

➤ Recibido el 15 de marzo de 2010, aceptado el 6 de abril de 2010.

Bonet, F.J., San Gil, I. (2010). Gestión de la información ambiental en los espacios protegidos y en las redes de seguimiento del cambio global. *Ecosistemas* 19(2):000-000.

Los espacios protegidos son un claro referente en el proceso de diseño e implementación de las nuevas formas de gestionar el territorio, basadas en la adaptabilidad frente a los cambios globales y locales. En este contexto, los sistemas de información son una herramienta clave para suministrar información y conocimiento útil para poner en marcha dichos procedimientos de gestión. Los sistemas de información brindan a los científicos y a los gestores la posibilidad de representar en un entorno informático la realidad compleja a la que se enfrentan. El uso de los sistemas de información permite a los gestores tomar decisiones con un menor grado de incertidumbre y a los científicos avanzar en la comprensión de los procesos ecológicos de los sistemas naturales. En este artículo describimos la estructura y funciones que, según nuestra experiencia, deberían de tener los sistemas de información dedicados a asistir en la gestión e investigación en espacios protegidos. La implementación real de un sistema de información funcional y útil, requiere tener en cuenta una serie de factores en el ámbito de la ciencia, la técnica, y además la financiación, los recursos humanos, etc. Por último mostramos el caso de los sistemas de la red estadounidense de investigación de ecosistemas a largo plazo (LTER).

Palabras clave: Sistema de información, metadatos, seguimiento, conocimiento, toma de decisiones

Bonet, F.J., San Gil, I. (2010). Ecological information management for global change monitoring networks and protected areas. *Ecosistemas* 19(2):000-000.

The management procedures of the protected areas are often used as a reference in the process of designing and implementing new ways of land management. These new management protocols are based on adaptability to local and global change. The information management systems are a key tool to provide useful information and knowledge to implement these management procedures. Information management systems provide scientists and managers modeling tools in a computing framework. These tools ease somewhat the land resource management complexities. The information management systems allows managers to make decisions with less uncertainty and scientists advance understanding of ecological processes of natural systems. In this paper we describe the structure and functions of the information management systems used to facilitate management and research in protected areas. The implementation of a functional and useful information management system depends on the scientific and technological requirements, as well as a particular attention to the human resources and financial constraints. We describe the implementation of many information management systems deployed at every United States Long Term Ecological Research Network participating site.

Keywords: Information system, metadata, monitoring, knowledge, decision making.

Gestión de espacios protegidos y la necesidad de información ambiental para gestionarlos

Desde el punto de vista de la información ambiental, los espacios naturales protegidos se distinguen del resto del territorio en que son un buen laboratorio donde probar nuevas metodologías y procedimientos de captura, almacenamiento y procesamiento de la información. La existencia de un equipo de trabajo bien definido, junto con la frecuente disponibilidad de fondos para la gestión de la información, facilitan esta visión.

Hablemos o no de un espacio protegido, el manejo sostenible de los recursos naturales es la única vía de asegurarse la continuidad de recursos a largo plazo. Hay diversas fuentes de complejidad en la gestión del medio ambiente, que dificultan notablemente la gestión sostenible de los recursos. Una es la complejidad inherente a los sistemas naturales. No tenemos todas las claves para comprender su estructura y dinámica. Pero además hay que añadir la complejidad de los sistemas socioeconómicos humanos, que son los que usan y manejan dichos recursos naturales. Además, hay que tener en cuenta el cambio global, que provocará cambios en la estructura y dinámica de los sistemas naturales, forzando a los gestores a implantar un modelo de gestión adaptativa en el que los objetivos de la gestión no son estáticos sino dinámicos. Éstas y otras circunstancias hacen que la solución de los problemas de gestión no sea única, sino que en realidad haya varias soluciones posibles con diferente grado de idoneidad. Estos problemas difícilmente formulables, que generan soluciones también difícilmente comprobables han sido catalogados por algunos autores como 'problemas perversos' (Allen y Gould, 1986; Rittel y Webber, 1973; Rauscher, 1999; Cornella, 2010). De hecho, no hay una sistemática clara para abordar estos problemas. Sólo podemos esbozar algunas condiciones necesarias para abordarlos con ciertas garantías de éxito. Una de ellas es que debemos contar con equipos realmente multidisciplinares, cada uno de cuyos miembros ha de tener una visión de conjunto del problema, para no dejarse llevar por una falsa sensación de que su parcela del problema es la más importante. Otra condición, la que más nos interesa aquí, es que la resolución de estos problemas requiere información relevante, de calidad y estructurada.

Las ideas que comentamos en este artículo tratan sobre herramientas que nos permiten manejar de manera eficaz la información que los gestores utilizan para mejorar el proceso de toma de decisiones. Estas herramientas pueden agruparse bajo la denominación genérica de 'sistemas de información'. Un sistema de información puede definirse como el conjunto de la información útil para tomar decisiones, más los procedimientos y herramientas que utilizamos para procesar dicha información (y transformarla en conocimiento útil), más el equipo humano encargado de realizar y coordinar las tareas anteriores.

Componentes y funciones de un sistema de información ideal

El verdadero valor añadido de usar un sistema de información como herramienta que ayude a la gestión de un espacio protegido procede de la visión simplificada de la realidad que suministran estas herramientas. Sabemos que la realidad de un espacio protegido es demasiado compleja como para comprenderla y por tanto gestionarla en su conjunto. En un sistema de información se almacena una representación simplificada de esa realidad compleja, de forma que nos resulta más fácil entenderla. Un mapa de vegetación, por ejemplo, no es más que una representación simplificada de la vegetación de un lugar determinado. Es más fácil entender un mapa de vegetación que comprender con detalle la estructura de la vegetación en realidad. Y mejor aún, es más fácil para un experto geólogo, por ejemplo, comprender la estructura de la vegetación a través de un mapa que la representa, que no tratar de abordar en su conjunto la comprensión de este elemento del ecosistema. Así que los sistemas de información suministran a los usuarios una 'copia simplificada' de la realidad. Y gracias a esta simplificación nos resulta, por un lado, más fácil de entender esta realidad compleja, y por otro, entender aspectos del ecosistema en los que no tenemos un conocimiento experto. Esto último pone de manifiesto el interés de los sistemas de información como herramientas que promueven la comunicación y el trabajo en equipo de distintos profesionales.

Es posible establecer una analogía entre esta simplificación de la realidad y lo que le 'ocurre' a un dato desde que entra en un sistema de información hasta que se suministra al usuario en forma de índice, tabla, gráfico o cualquier otro producto elaborado. Se da la circunstancia de que cuanto más sintético e integrador es el producto de un sistema de información, más compleja será la estructura interna del sistema y más elaborados serán los procesos aplicados a los datos brutos que entran en el mismo (**Fig. 1**). Es decir, la visión simplificada de la realidad que se consigue en un sistema de información se obtiene a costa de complicar la estructura de dicho sistema. En los siguientes párrafos analizaremos los componentes y funciones de un sistema de información usando como hilo conductor los procesos que van ocurriendo desde que un dato entra en el sistema hasta que obtenemos de él conocimiento útil en el proceso de toma de decisiones.

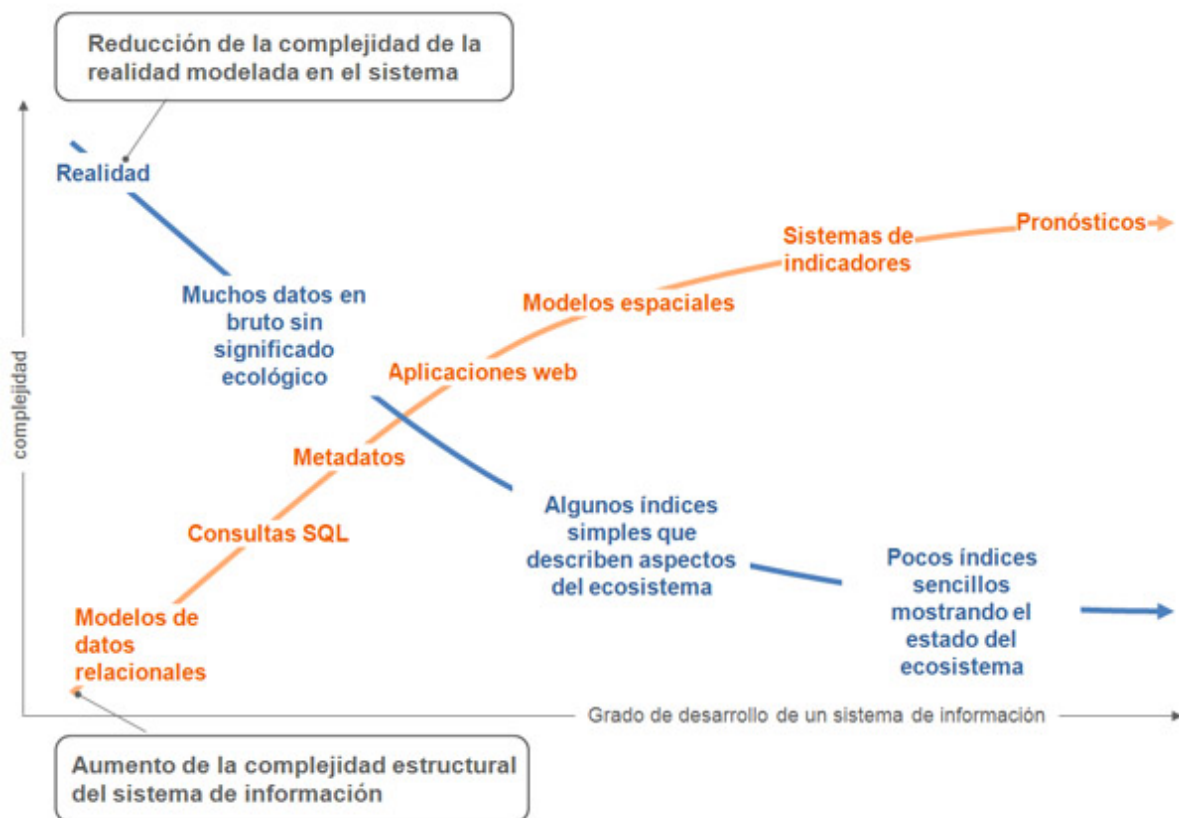


Figura 1. Representación idealizada del aumento en la complejidad de la estructura de un sistema de información y la simplificación de la visión de la realidad que nos ofrecen.

Comenzaremos con los 'datos brutos'. Un dato es una representación simbólica que caracteriza a una entidad concreta. Los datos son la forma más sencilla de caracterizar un aspecto determinado del ecosistema. Datos son los resultados de un censo de aves acuáticas o el resultado de un proceso de fotointerpretación de la vegetación, por ejemplo. Hay diversos tipos de datos que permiten caracterizar un aspecto concreto del sistema: variables físico-químicas (temperatura, humedad, salinidad, etc.) o bióticas (especies presentes, vegetación, fenología, etc.), datos socioeconómicos (tasa de paro, áreas de actividad económica, número de bibliotecas por mil habitantes, etc.). Estos datos se almacenan en bases de datos. Hay muchos tipos de bases de datos, pero las más frecuentemente utilizadas son las llamadas 'relacionales' (Codd, 1970). Estas bases permiten establecer relaciones entre los datos (que están guardados en tablas) y trabajar con ellos conjuntamente. Una de las ventajas de usar este tipo de bases de datos es que la estructura de tablas y las relaciones entre las mismas es una representación de la metodología que se ha seguido para capturar la información. Dado que buena parte de los datos con los que se trabaja en un espacio protegido tienen una fuerte componente espacial, es fundamental tener en cuenta esta dimensión a la hora de almacenarlos. Por ello se suelen usar bases de datos geográficas. El uso de bases de datos relacionales está muy extendido dentro de los sistemas de información de las Administraciones Públicas, pero su uso está todavía poco extendido en el ámbito científico.

Los datos tomados en campo son un componente más del conjunto de datos que ha de almacenar un sistema de información. También es importante registrar las metodologías de trabajo, contar con un directorio de personal, realizar una gestión eficaz de referencias bibliográficas, llevar un registro del mantenimiento de los aparatos de medida, o realizar una gestión adecuada de las fotografías tomadas por los miembros del equipo, por citar algunos ejemplos. La gestión de esta información 'periférica' suele pasar desapercibida a la hora de diseñar un sistema de información. Esto se debe, probablemente, a que es información difusa y difícilmente estandarizable. Sin embargo en los últimos años, con el auge de la *web 2.0* (Usluel y Mazman, 2009; Zlatic et al., 2006), están apareciendo multitud de aplicaciones capaces de gestionar correctamente esta información difusa. La aplicación de estas técnicas a la investigación científica se suele denominar *ciencia 2.0* (Pérez-Luque et al., 2009; Gillet et al., 2009)

Además de los datos como tales, resulta también importante tener conocimiento sobre algunos aspectos generales de dichos datos, tales como su autoría, estructura, calidad, acceso, etc. Es decir, necesitamos tener 'datos sobre los datos'. De esto se encargan los metadatos, que son una información de nivel superior que describe el contenido, calidad, estructura y accesibilidad de un conjunto específico de datos (Michener et al., 1997). Hay muchas formas de organizar los metadatos

dentro de un sistema de información, pero la tendencia más común es la de usar estándares internacionales que permiten la interoperabilidad de los sistemas, es decir la capacidad de distintos sistemas de información de intercambiar datos de manera automática. Algunos estándares internacionales son el Darwin Core, usado para documentar información sobre colecciones biológicas (GBIF, Global Biodiversity Information Facility, usa este estándar), o el EML (Ecological Metadata Language) (Fegeaus et al., 2005), diseñado por la ESA para documentar datos ecológicos. También hay estándares para documentar datos geográficos, como el llamado FGDC (Federal Geographic Data Committee), que es uno de los más extendidos para asignar metadatos a capas de información utilizables en un SIG. Estos estándares de metadatos, aunque son un avance muy importante, están limitados a la descripción de unos pocos metadatos específicos de los datos (propietario, información de contacto, palabras clave, descripciones, etc.). Con objeto de contar con procedimientos más flexibles y potentes que tengan en cuenta la complejidad de la estructura, semántica y relaciones de los datos ecológicos, están desarrollándose otras formas de documentar la información ecológica basadas en el concepto de ontología (Madin et al., 2007). Las ontologías suministran un mecanismo formal para definir términos y sus relaciones y pueden mejorar la forma en la que ubicamos, interpretamos e integramos la información, basándose en su significado inherente (Madin et al., 2007). Otras disciplinas, como la biología molecular, ya se benefician de estas ontologías, las cuales facilitan la forma en la que se describen los datos y sus relaciones.

Hasta aquí hemos hablado de datos brutos. Conseguir que todos los datos generados en un espacio protegido se encuentren correctamente ordenados en bases de datos, estén documentados y relacionados entre sí, es un logro muy importante. Si llegamos a este punto, nuestro sistema de información será capaz de 'responder' preguntas complejas sobre una serie de ámbitos temáticos considerados. Por ejemplo: ¿Cuál fue el éxito reproductor del águila real en el año 2003 en la zona A del Parque? o ¿en qué lugares se han realizado tratamientos selvícolas en pinares de repoblación en el último año? Para responder a estas preguntas, el sistema de información ha de procesar de alguna manera los datos brutos (mediante consultas específicas, agregaciones sencillas o complejos procesos matemáticos), ofreciendo como resultado cierta información sintética. Así, la información puede ser considerada como una propiedad emergente que surge al aplicar a los datos brutos ciertos procesos de análisis. La información constituye en sí un mensaje sobre el estado de un elemento concreto de la realidad que modelamos en el sistema de información. Y si esa información puede usarse directamente para ayudar a los gestores a adoptar una decisión determinada, entonces habremos generado conocimiento útil. Hay infinidad de procedimientos para generar información útil a partir de los datos brutos. Aunque no pretendemos hacer una descripción exhaustiva de estos métodos, si indicaremos a modo de ejemplo dos metodologías que consideramos especialmente interesantes para generar conocimiento útil en la gestión de un espacio protegido.

Quizás la forma más sencilla de procesar la información contenida en una base de datos, sea mediante consultas a dicha base de datos. Esas consultas se realizan usando una serie de instrucciones estructuradas que permiten agregar la información y suministrar al usuario los productos deseados. Se realizan mediante un lenguaje informático denominado SQL (*Structured Query Language*), que permite acceder a bases de datos relacionales. Cuando un usuario accede a una base de datos (mediante un interfaz web, por ejemplo) y requiere al sistema con alguna pregunta como las anteriores, se usa este lenguaje para consultar a la base de datos y devolver la información solicitada. Se trata, por tanto de una forma de acceso 'al vuelo' a la información. Sin embargo hay casos en los que las consultas son más complejas y no es factible realizarlas directamente sobre los datos en bruto. Esto ocurre también cuando hay un gran volumen de datos a consultar. En estos casos se puede utilizar un elemento denominado 'almacén de datos' (del inglés *data warehouse*). Un almacén de datos es una colección de datos, integrado, no volátil y variable en el tiempo, que permite la generación de información sintética y dinámica con un objetivo determinado (McGuire et al., 2008). En definitiva, se trata de repositorios intermedios de datos semiprocesados que se sitúan entre las bases de datos relacionales y el usuario. Contienen información semiestructurada, por lo que las consultas que se hacen sobre ellos funcionan más rápidamente que si las ejecutamos sobre la base de datos original. Se suelen programar para que se 'llenen' de datos en momentos de baja actividad del sistema (por la noche generalmente), estando listos para recibir complejas consultas durante los momentos de gran demanda. Los almacenes de datos han sido extensamente utilizados como procedimientos para sintetizar información económica de grandes corporaciones empresariales. Sin embargo todavía son poco utilizados como herramientas de gestión ambiental o de investigación ecológica. Para aplicarlos a estos ámbitos se suele hacer una analogía con los análisis correlacionales que sí son muy frecuentes en ecología. En este sentido, un almacén de datos se puede representar como un cubo multidimensional en el que las caras son las variables independientes y el interior son los hechos o variables dependientes. Supongamos que queremos conocer cómo varía la abundancia de conejo en función del tipo de sustrato, el hábitat y el tiempo. Es decir, queremos visualizar dinámicamente cómo cambian unos hechos (abundancia de conejo) en función de una serie de dimensiones o variables independientes (tiempo, hábitat y sustrato). Si generamos un almacén de datos (cubo tridimensional en este caso) podremos realizar filtros (mostrar abundancia de conejo sólo en un hábitat) o agregaciones múltiples (mostrar la abundancia media por mes, o por estación del año.), etc.

Los datos contenidos en un sistema de información también pueden 'alimentar' a modelos espaciales complejos, como por ejemplo los modelos de distribución potencial de especies. Estos modelos utilizan complejos algoritmos para generar mapas predictivos de la distribución de las especies (Soberon y Peterson, 2004). Para ello se basan, por un lado en los datos de ocurrencia conocidos de las especies, y por otro en una serie de variables ambientales (expresadas en capas de un SIG) que son consideradas como importantes para la distribución de la especie en cuestión. La combinación de ambas fuentes de

datos mediante dichos algoritmos genera una capa que muestra la idoneidad del territorio para albergar poblaciones de la especie considerada. En realidad modelan el nicho ecológico de la especie y lo plasman en un entorno geográfico concreto. Estas herramientas son frecuentemente utilizadas en ámbitos científicos, constituyendo una importante línea de investigación dentro de lo que podemos llamar *ecoinformática*. Los incluimos aquí por el gran interés que tienen en el ámbito de la gestión del territorio y en concreto en el manejo de especies amenazadas. Estos mapas de distribución potencial son muy útiles para identificar nuevas poblaciones desconocidas de las especies amenazadas, o para seleccionar lugares adecuados donde llevar a cabo reintroducciones, por citar dos ejemplos. Desde el punto de vista del sistema de información ideal que estamos describiendo, estos métodos son especialmente interesantes si se conectan de manera dinámica con los datos brutos contenidos en dicho sistema de información. Es posible generar modelos de distribución potencial a partir de los datos de ocurrencia de una especie determinada que se encuentran almacenados en una base de datos relacional de nuestro sistema. Estos datos se combinan con las capas que a priori condicionan su distribución, las cuales también están integradas en nuestro sistema. Para que todo esto funcione y el usuario pueda obtener datos de distribución potencial a partir del sistema de información, es necesario que haya cierta automatización en la ejecución del modelo de distribución. Esto se consigue gracias al uso de herramientas denominadas 'gestores de flujos de trabajo' (Barseghian et al., 2010; McPhillips et al., 2009). Estas herramientas permiten la composición y ejecución de flujos de trabajo complejos, mediante la concatenación de una serie de pasos de manipulación de datos o computacionales (algoritmos), con objeto de generar un producto concreto.

Llegados a este punto, nuestro sistema de información teórico es capaz tanto de catalogar y almacenar correctamente los datos, como de procesarlos para generar información y conocimiento útil. Conforme hemos ido avanzando en la descripción hemos comprobado cómo la estructura y funcionamiento del sistema se hace cada vez más compleja. Pero aún nos falta un último paso para terminar de describir el sistema de información ideal. Nos referimos a la fase de difusión de los resultados generados a los usuarios potenciales. En nuestro caso estos usuarios son tanto la comunidad científica como los gestores del espacio protegido que nos ocupa. Esta última fase es a la que menos esfuerzos suelen dedicarse por parte de los administradores del sistema. Sin embargo, creemos que es tremendamente importante, ya que si la completamos correctamente, habremos puesto a disposición de los gestores el conocimiento necesario para apoyar su proceso de toma de decisiones. La adopción de estas decisiones implica la modificación de la realidad del territorio (reintroducción de una especie, autorización de un camino, etc.), cuyas consecuencias pueden ser diagnosticadas mediante los protocolos de toma de datos en campo. Datos que son almacenados en un sistema de información que es usado para apoyar la toma de decisiones. Es decir, con la fase de divulgación completamos de alguna manera el papel que juegan los sistemas de información en el proceso de gestión de los espacios protegidos.

Como hemos dicho, los dos tipos de usuarios potenciales de nuestro sistema de información son los científicos y los gestores. Los primeros suelen requerir información en bruto para realizar sus análisis e investigaciones. Haciendo una analogía con la ontogenia de un organismo, los datos brutos son 'totipotentes', mientras que los procesados están más 'diferenciados' y tienen una menor potencialidad de uso (aunque sean muy útiles para aspectos concretos). Mientras que los científicos suelen preferir datos totipotentes, los gestores demandan información sintética con la que resolver los problemas del día a día. El sistema de información debe de ser capaz de suministrar estas dos modalidades de datos a los usuarios.

En el caso de suministrar datos en bruto, la complejidad suele radicar en los grandes volúmenes de datos existentes. Para satisfacer a los usuarios en este sentido habrá que poner en marcha mecanismos de descarga mediante ftp, archivos de tipo P2P, etc. El servicio de descarga de imágenes de satélite de la NASA (<https://wist.echo.nasa.gov/api/>) es un excelente ejemplo de este tipo de protocolos. Gracias a este servicio, cualquier persona con conexión a Internet puede descargarse en su ordenador decenas de Gigabytes de información en forma de imágenes de satélite de diversos sensores. Los usos potenciales de esta información son casi ilimitados.

El problema de comunicar la información de síntesis es bien diferente. Para que un índice determinado que es generado por el sistema de información sea realmente utilizado por un gestor, debemos suministrar ese resultado en un formato amigable para una persona que tiene un día a día complejo y con poco tiempo para dedicarse a 'bucear' en los datos. Hacer que la información sea amigable y vistosa es la función de una disciplina que está cobrando mucho auge en los últimos años y que podríamos denominar 'visualización funcional de la información'. Se trata de un conjunto de técnicas que combinan los análisis estadísticos y otros algoritmos de procesamiento de datos, para dar lugar una visualización de la información que tiene un sentido funcional para el usuario. Para lograr esto se requiere la aplicación de un lenguaje visual basado en los colores, líneas, forma, jerarquías y composición (Woolman, 2002). En otras palabras, se trata de mostrar la información de manera que la complejidad que hay detrás de su elaboración quede matizada por una visualización amigable que permita su comprensión casi inmediata.

A modo de resumen, la siguiente figura (**Fig. 2**), muestra un sencillo modelo conceptual que incorpora buena parte de los componentes y funciones descritos en los párrafos anteriores.

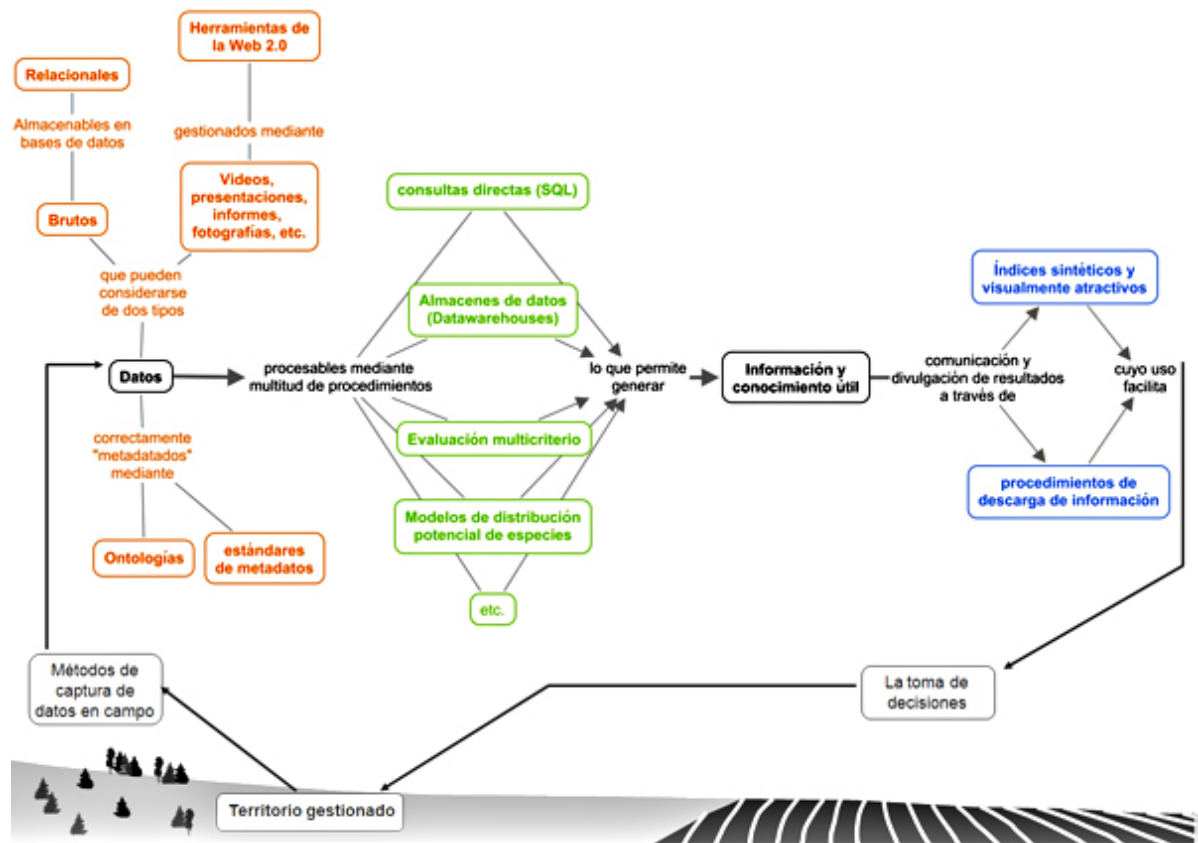


Figura 2. Modelo conceptual del sistema de información teórico descrito en el texto

De la teoría a la práctica: Algunas claves para diseñar e implementar un sistema de información

Aunque no hay recetas únicas que funcionen en todos los casos, la creación de un sistema robusto para gestionar la información de un espacio protegido debe contemplar un proceso similar al que se sigue cuando se diseña y construye una casa, por ejemplo. Este proceso debe contener un plan, una organización, selección de personal, motivación y monitoreo del sistema. Dentro del proceso de planificación, se debe tener cierta dedicación al diseño, enumeración de requerimientos del sistema, las prioridades del mismo, así como el tiempo de ejecución del sistema. Los prototipos del sistema son un primer paso para desarrollar el producto final que, normalmente, requiere un mantenimiento, monitorización y evolución constante. Ni que decir tiene que tanto el proceso de crear un sistema de información, como el de mantenimiento tienen un coste no desdeñable. Sin embargo, las probabilidades de obtener un sistema eficiente se incrementan con la debida atención a los detalles del proceso mencionado. En los siguientes párrafos describiremos alguno de los aspectos que consideramos más críticos a la hora de diseñar y crear un sistema de información.

El primer paso y quizás el más importante es la planificación. Es fundamental que haya un plan, lo más explícito posible, que muestre las funciones y requerimientos del sistema de información a desarrollar. Y es importante que ese plan cuente también con un cronograma que ponga de manifiesto los distintos hitos que alcanzará el sistema en su desarrollo: prototipos, funciones a incorporar, mantenimiento, etc. Debido a la complejidad del asunto, es poco probable que el sistema de información contenga todas las funciones que deseemos en la primera versión. Por ello, la planificación debe de contemplar la posibilidad de crear distintas versiones del sistema de información. Este plan de sistemas ha de estar elaborado por profesionales que conozcan bien cómo se hace un sistema de información. Así que deberemos contar con un equipo humano que sepa de cuestiones como: informática de sistemas, conocimiento temático sobre la información a gestionar, conocimiento sobre los requisitos de los usuarios, desarrollo de aplicaciones, etc. Estos mismos profesionales son los que luego podrán dedicarse a implantar el sistema que han desarrollado.

Tanto en la planificación como en el desarrollo del sistema, es importante tener en cuenta las limitaciones económicas. Desafortunadamente la investigación y la gestión del medio ambiente disponen de unos presupuestos relativamente bajos en comparación con otros ámbitos como la obra pública o la investigación biomédica, por ejemplo. Por otro lado los proyectos que se abordan en un espacio protegido determinado tiene una fecha de ejecución concreta, que contrasta con la necesidad de financiación continuada para el mantenimiento y evolución de un sistema de información. Normalmente se intenta conciliar este contraste a través de la reserva de una partida de recursos para los sistemas de información en cada propuesta científica o de gestión de los centros implicados. Otro aspecto económico de gran importancia es la forma en la que se dispone de

recursos para el sistema de información. Si ya es complejo conseguir recursos para diseñar y poner en marcha el sistema, más complejo aún es contar con dinero para mantener dicho sistema en el tiempo. Los responsables de diseñar los presupuestos de las administraciones suelen creer que los sistemas informáticos se mantienen por sí mismos, lo cual es totalmente incierto. Con la inyección económica inicial se pueden hacer muchas cosas, pero sólo si conseguimos financiación para los años sucesivos podremos rentabilizar la inversión realizada y poner de manifiesto la utilidad real de un sistema de información en la gestión de un espacio protegido. Por otro lado, es altamente recomendable que el mantenimiento de un sistema de información no suponga una carga económica para el espacio protegido, por lo que hay que tender a reducir los costes al mínimo.

A la hora de diseñar e implementar un sistema de información, hay un aspecto clave que debe de decidirse en las primeras fases. Se trata de la tecnología que se usará para gestionar la información. Hemos de decidir el uso de un sistema de gestión de bases de datos determinado, un servidor de cartografía, un estándar de metadatos, etc. Al final la decisión sobre qué tipo de software utilizar se toma por una combinación de criterios técnicos, económicos y otros más difícilmente cuantificables, como es la experiencia previa que tengan los profesionales que están diseñando el sistema de información. En cualquier caso, es una decisión tremendamente importante porque condiciona en buena medida tanto la funcionalidad del sistema como su posible evolución en el tiempo. No es lo mismo crear un sistema de información basado en software libre que usar software propietario. En el primer caso nos ahorraremos mucho dinero en licencias, pero probablemente tengamos que invertir más en desarrollos informáticos propios. Por otro lado, la tecnología avanza más rápido que el conocimiento individual que tenemos de la misma. Suele ocurrir que ni siquiera los mejores profesionales saben cuál es la mejor tecnología que sirve al conjunto de requerimientos de un sistema de información. Además, decantarse por una tecnología determinada, genera de manera casi inevitable cierto 'compromiso' temporal con esa decisión. Por ejemplo, si decidimos que nuestro sistema de información estará basado en un motor de bases de datos concreto, estaremos sujetos a los posibles cambios que los desarrolladores de este software vayan incorporando a su producto. Esta dependencia con el software es tanto más importante cuanto mayor sea el volumen de información del sistema y cuánto más complejo sea, ya que resulta más difícil asumir los cambios impuestos desde fuera.

Los usuarios también forman parte del sistema de información, por lo que es importante contar con su opinión para el diseño y la implementación del mismo. No tiene sentido diseñar un robusto dispositivo informático que no tenga en cuenta a las necesidades de los usuarios. Es cierto que a muchos usuarios les resulta complejo explicitar lo que le piden a un sistema de información, porque en muchas ocasiones es complejo saber qué te puede ofrecer una herramienta que no conoces, pero también es verdad que trabajar con los usuarios desde el primer momento es algo altamente recomendable. De esta manera evitamos problemas de usabilidad y de adopción de las tecnologías del sistema de información. También en relación con los usuarios, es interesante que haya un programa de formación paralelo a la implantación del sistema de información. Esto capacita a los usuarios a utilizar las herramientas informáticas que permiten manejar la información, al mismo tiempo que se incrementa la colaboración entre usuarios y desarrolladores.

De un sistema de información a una red de sistemas: Red LTER de Estados Unidos de América.

Breve introducción a la red LTER (Long Term Ecological Research Network)

En 1980 el congreso estadounidense decide promover el trabajo conjunto de varias estaciones de investigación en lo que será la red de investigaciones ecológicas a largo plazo (LTER en inglés). La red fue añadiendo estaciones a las seis iniciales, y hoy hay 26 estaciones con un nodo coordinador que cubren toda la gama de ecosistemas en la geografía estadounidense, desde la selva subtropical en Luquillo, Puerto Rico (Luquillo LTER) hasta la tundra en las pendiente norte de Alaska (Arctic LTER, 2010), pasando por los desiertos (Sevilleta LTER, Jornada LTER), la pradera (Short Grass LTER, Konza LTER, Kellogg LTER, Cedar Creek LTER), los ecosistemas alpinos (Niwot LTER) los pantanales y ecosistemas de agua dulce (Florida Coastal LTER, North Temperate Lakes LTER), además de los ecosistemas de bosques húmedos (Coweeta LTER, Hubbard Brook LTER, Andrews LTER, Harvard Forest LTER), marismas, costas y fondo marino (Plum Island LTER, Georgia Coastal LTER, Virginia Coastal LTER, California Current LTER, Santa Barbara Coastal LTER, Moorea LTER, Florida Coastal LTER, Palmer LTER.) y ecosistemas árticos, antárticos y boreales (Bonanza LTER, McMurdo LTER.). Finalmente, LTER también estudia el medioambiente en ecosistemas urbanos (Central Phoenix LTER, Baltimore LTER). En la **figura 3** puede ver la distribución de los nodos de la red estadounidense. Una lista completa de enlaces a los sitios de LTER está disponible en <http://www.lternet.edu/sites>



Figura 3. Mapa mostrando la ubicación de los sitios LTER de la red de Estados Unidos.

Algunos de los estudios de largo plazo (Ejemplo; las modificaciones en el nivel del mar) tienen una duración prácticamente ininterrumpida desde 1900, aunque en general los estudios a largo plazo tienen una duración continua de unos veinte años. Al menos el veinte por ciento de todos los estudios que se llevan a cabo en esta red son de larga duración, y se mantienen ininterrumpidos desde su comienzo. John Hobbie publicó hace unos años un resumen de los aciertos científicos de la red LTER (Hobbie, 2003).

El contexto internacional de la red LTER

La red LTER de Estados Unidos está enmarcada en la red internacional LTER (ILTER, 2010) a la que pertenecen más de cuarenta países. Esta red global ha adoptado una especificación común para la interoperabilidad de los metadatos y agregación de los proyectos estudiados en la red. En la **Figura 4** pueden verse los países participantes (marcadores verdes) así como la localización de los proyectos georeferenciados en la especificación común de la red IILTER (puntos negros en el mapa).



Figura 4. Mapa de distribución de los sitios LTER en todo el mundo. Los marcadores verdes corresponden a los países que participan en el programa internacional de LTER. Los puntos negros corresponden a la localización geográfica de algunos de los estudios que han sido documentados en el lenguaje estandarizado de la red ILTER (EML). Estos estudios han sido también distribuidos a través de servidores centralizados de metadatos como el “Knowledge Network for Biocomplexity”, “National Biological Information Infrastructure” y la propia red LTER.

Apoyo financiero a la red LTER

El soporte financiero a la iniciativa LTER no se ha mermado ni interrumpido durante las tres décadas de su existencia. Desde la formación de la red, la Fundación Nacional de Ciencia (NSF) estadounidense, ha proveído a la red LTER con un flujo incremental de dinero que no ha cesado a pesar de los cambios de gobierno, crisis globales y locales del sistema financiero. En la **Figura 5**, podemos observar como ha crecido la red en los últimos veinticinco años, así como la cantidad de ayudas recibidas a través de propuestas financiadas por la NSF. Ha de notarse que la financiación se provee a cada nodo de la red de una manera independiente, y que cada nodo es sometido a auditorias y revisiones periódicas. Existe sin embargo, una oficina central coordinadora para la red LTER (<http://lno.lternet.edu>). La oficina central de LTER recibe fondos de la Fundación Nacional de Ciencia a través de un contrato de cooperación. La oficina central, es esencialmente un servicio para la propia red LTER. La red LTER dispone de organismos de gobierno interno; un comité ejecutivo, un consejo científico, y varios comités que se ocupan de los programas de educación, gestión de información, relaciones científicos-gestores de información y relaciones públicas. Las reglas internas de LTER ordenan que cada nodo de la red LTER debe tener al menos una persona dedicada a la gestión de la información. La persona encargada de la gestión de la información trabaja con los científicos en la recogida, mantenimiento y acceso de los datos, así como en el desarrollo de los sistemas de gestión de la información y su infraestructura.

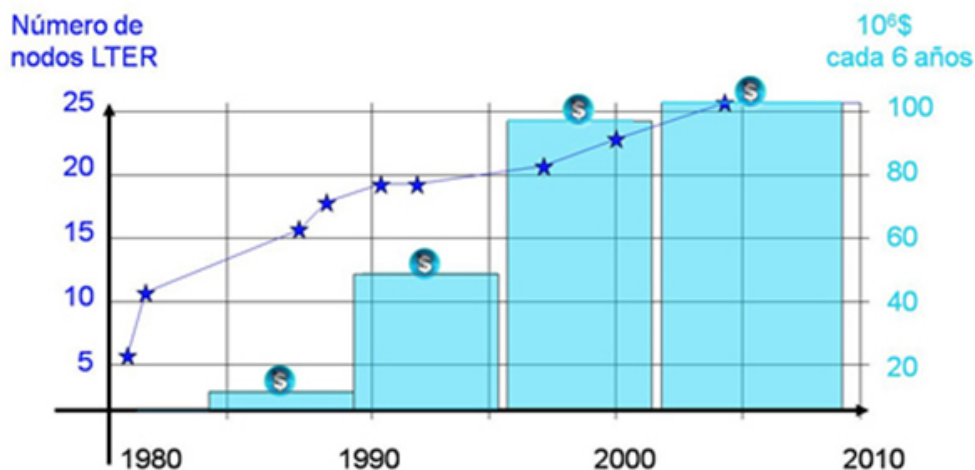


Figura 5. Evolución temporal de la inversión económica a la red LTER (barras sólidas), frente al número de sitios (estrellas y línea). La información sobre financiación de proyectos relacionados con LTER por la NSF fue obtenida en <http://www.nsf.gov>

Los sistemas de información de la red estadounidense LTER

Uno de los objetivos de la red LTER es descubrir los patrones que rigen el cambio global, patrones decadales y demás evoluciones de los ecosistemas. La consecución de estos objetivos depende del carácter colaborativo de los nodos de LTER. El fin colaborativo se recoge en los dos puntos principales de la adjudicación de la partida inicial de la NSF (Magnuson, 2006). Las colaboraciones entre nodos han ido profundizándose a lo largo de los años en la red LTER (Christian et al., 2009), y cabe destacar que los gestores de la información de cada sitio están organizados en un comité que cuenta con fondos propios para desarrollar productos de interés para la red, el desarrollo de grupos de trabajo además de fondos para sus reuniones anuales (<http://intranet.lternet.edu/im/news/meetings>).

Realidades socio-económicas, y su reflejo en la faceta técnica

El carácter descentralizado de la financiación de los nodos se ha traducido en un desarrollo de los nodos paralelo y fundamentalmente independiente. Este desarrollo descentralizado se refleja también en los sistemas de información. Los sistemas de información de los nodos de la red LTER han sido formados y han evolucionado con independencia y sin la guía de un modelo central. La consecuencia es la agilización del desarrollo de los sistemas de acuerdo a los recursos disponibles en cada nodo de la red. Sin embargo, una de las contrapartidas de la descentralización es la dificultad de la integración de los proyectos sinérgicos. Algunos sitios de LTER dedican una atención adecuada a la gestión de la información, con un equipo de gestores que no baja de tres o cuatro personas a tiempo completo (Por ejemplo, Andrews LTER, North Temperate Lakes LTER y Arizona Phoenix LTER), sin embargo, la mayoría de los sitios LTER estadounidense cuentan con un sólo gestor de la información, que a menudo desempeña otras funciones dentro del sitio LTER. Recientemente, algunos elementos de los sistemas de la información se centralizan. En particular, los datos procedentes de estaciones meteorológicas (Henshaw et al., 2006), la bibliografía de LTER (Brunt, 2005) y el directorio del personal. Sin embargo, estas tres categorías centralizadas de información no están integradas entre sí. En el año 2003 (Harmon, 2003), la red LTER decide adoptar la especificación común del Lenguaje de Metadatos Ecológicos (Feagraus et al., 2005) para expresar los metadatos en la red LTER. Por *metadatos* entendemos los 'datos sobre los datos', es decir, aquella información circunstancial y contextual sobre los datos recabados en cualquier proyecto de investigación. El conjunto de metadatos incluye el personal asociado con el estudio, el resumen del estudio, información geotemporal sobre los datos, información taxonómica, palabras clave, detalles sobre el contenedor de los datos, variables y unidades usadas, códigos y demás información necesaria para la correcta interpretación de los datos. Otros productos orientados a la disseminación de la información generada en LTER fueron adoptándose desde entonces, incluyendo un catálogo central de metadatos (Berkley et. al, 2005) como sucesor a un rudimentario sistema de catálogo de proyectos temático (Porter, 1997). La adopción de una especificación común permitió que la integración de información se acercase más a un proceso automático. En el año 2007, todos los nodos de LTER ya contribuían con metadatos estandarizados al catálogo central (San Gil, 2007) y al poco tiempo aparecieron los primeros prototipos de automatización del proceso de integración y síntesis de datos, como EcoTrends y otros (San Gil, Vandebilt y Harrington, datos sin publicar).

El proceso técnico y socio-económico de estandarización de los metadatos de la red LTER está descrito en detalle en San Gil et al., (2009). Antes de adoptar una especificación común, todos los nodos de LTER disponen de metadatos y datos de acceso público. Cada nodo y cada investigador afiliado con cualquier nodo dispone de un período de dos años para la

investigación exclusiva de los datos que proceden de un proyecto del nodo. La Fundación Nacional de Ciencia americana y la LTER, exigen que los datos y metadatos asociados tienen que estar disponibles para el público tras los dos años de exclusividad. En resumen, el proceso de estandarización es un proceso de conversión del formato original al formato estándar. La estandarización eficiente de los metadatos presupone el conocimiento técnico-social profundo de los sistemas de información de cada nodo.

Técnicamente, los sistemas de información en LTER (San Gil y Gries, 2008) se pueden describir como modelos que gestionan la información digital usando varias bases de datos relacionales, árboles de directorios y archivos, y a menudo, sistemas comerciales para gestionar fundamentalmente la información geográfica. Todos los sitios tienen procedimientos automatizados para servir metadatos y datos, con acceso fácil a los mismos.

El futuro de los sistemas de información de LTER

En general, los sistemas de información de la red estadounidense de LTER se han ido expandiendo sobre sus modelos iniciales, y en la actualidad, muchos sistemas no ofrecen una visión integrada de la información. A menudo, las bases de datos de publicaciones y bases de datos del personal activo están conectadas tan solo nominalmente, careciendo de conexión relacional entre ambas bases de datos. Lo mismo se puede decir de la mayoría de las bases de datos para proyectos, metadatos, y demás componentes de la información de cada sistema. Los sistemas de información del nodo de Sevilleta LTER y Georgia Coastal LTER son excepciones notables a la dispersión de la información en la red LTER. Existe una tendencia reciente a integrar el contenido en la red, como queda demostrado por los esfuerzos de la red en consolidar y estandarizar datos y metadatos, y el uso de la herramienta *Content Management Systems* para organizar, integrar y difundir la información.

Sin una coordinación temprana, cada grupo o nodo de la red tiende lógicamente a diseñar e implementar sus propias ideas para el sistema de gestión de información y datos. Esta descentralización ha producido obstáculos a la hora de sintetizar la información para los análisis globales en la red. Cuando menos, dichos obstáculos han resultado en una pérdida de tiempo y recursos, y en el peor de los casos la no integración de protocolos y sistemas de información ha impedido conseguir los objetivos de estudios que abarcan más de un ecosistema representado por más de un centro administrativo.

Redes de redes

Los resultados científicos son refrendados a partir de los datos, éstos se preservan y revalorizan con una gestión adecuada que incluye los metadatos completos. Cuando estos metadatos se ofrecen de un modo estandarizado, los datos pueden pasar a formar parte de las redes globales, como la red de redes estadounidense, estructura nacional de infraestructura biológica (el NBII -<http://nbii.gov>). Los datos pueden también formar parte de los archivos de preservación a largo plazo como DataONE (red de observaciones para la tierra -ver <http://dataone.org>) y demás esfuerzos para facilitar y mediar la estudios globales de síntesis (El proyecto Dryad, en <http://datadryad.org/>). Otra iniciativa que cabe mencionar es la red nacional de observatorios de la Tierra (NEON, <http://neoninc.org>) que cuenta con una estandarización completa, desde metodologías a instrumentación. Los científicos dispondrán de libre acceso a un gran número de observaciones ecológicas distribuidas geográficamente y completamente comparables. La participación en estas comunidades no significa la pérdida de los derechos de autor, estos están protegidos mediante una serie de documentos que rigen el uso de datos (<http://www.lternet.edu/data/netpolicy.html>). Piwowar y colaboradores (2007) indican en su estudio cómo aquellos investigadores que tras publicar, comparten sus datos, reciben más citaciones que los que no comparten sus datos tras la publicación. Existen más incentivos para preservar y compartir los datos compilados en cualquier estudio científico, algunos de los cuales están detallados en San Gil, Vanderbilt y Harrington, (datos sin publicar), o también en <http://www.scivee.tv/node/12384>.

Conclusión

La puesta en marcha de mecanismos de gestión adaptativa de los espacios protegidos en un contexto de cambio global requiere el uso de herramientas para gestionar la información generada por los programas de seguimiento. Estas herramientas deben de permitir el almacenamiento estandarizado y la documentación de la información generada, así como el procesamiento de la misma para generar conocimiento útil en el proceso de toma de decisiones. También deben de promover la divulgación de los resultados y productos a los usuarios potenciales (gestores, científicos, público en general). Estas herramientas se pueden incluir bajo el concepto de 'sistema de información'. Su diseño y puesta en funcionamiento debe de ser, en nuestra opinión, una de las piezas claves de todo programa de seguimiento de los efectos del cambio global en espacios protegidos.

Referencias

- Allen G.M., Gould, E.M. 1986. Complexity, wickedness, and public forests. *Journal of Forestry* 84:20-23.
- Barseghian D., Altintas, I., Jones, M.B., Crawl, D., Potter, N., Gallagher, J., Cornillon, P., Schildhauer, M., Borer, E.T., Seabloom, E.W., Hosseini, P.R. 2010. Workflows and extensions to the Kepler scientific workflow system to support environmental sensor data access and analysis. *Ecological Informatics* 5:42-50.
- Berkley, C., Jones M., Bojilova, J., Higgins, D. 2005. *Metacat: A Schema-Independent XML Database System*. Scientific and Statistical Database Management, International Conference on, p. 171, Thirteenth International Conference on Scientific and Statistical Database Management, Washington, DC, USA.
- Brunt, J.W. 2005. *The LTER Network All-Site Bibliography*. LTER Databits (spring). [Disponible en <http://intranet.lternet.edu/archives/documents/Newsletters/DataBits/05spring/#4fa>]
- Christian, R.R., Johnson, J.C., Hickman, C.R., Brunt, J.W., Waide R.B. 2009. *Evolution of site collaboration within the US LTER network*. 2009 LTER All Scientists Meeting. Estes Park, CO. EEUU. [Abstract disponible en <http://asm.lternet.edu/2009/posters/evolution-site-collaboration-within-us-lter-network>]
- Codd E.F. 1970. A relational model of data for large shared data banks. *Communications of the ACM* 13:377-387.
- Cornella, A. 2010. Los problemas que afrontará la siguiente generación. Conferencia TEDx. Barcelona. 14/12/2009. [<http://www.youtube.com/watch?v=PHCh-2plWmU>]
- Fegraus, E.H. , Andelman, S., Jones, M.B. Schildhauer, M. 2005. Maximizing the value of ecological data with structured metadata: an introduction to ecological metadata language (EML) and principles for metadata creation. *Bulletin of the Ecological Society of America* 86:158-168.
- Gillet D., El Helou, S., Joubert, M., Sutherland, R. 2009. *Science 2.0: Supporting a Doctoral Community of Practice in Technology Enhanced Learning using Social Software*. En: 4th European Conference on Technology Enhanced Learning (ECTEL) - Science 2.0 Workshop, Niza, Francia. [Disponible en http://infoscience.epfl.ch/record/140944/files/Science2.0_DoCoP.pdf]
- Harmon, M. 2003. *Motion to adopt EML at the coordinating committee*. [Disponible en http://intranet.lternet.edu/archives/documents/reports/Minutes/lter_cc/Spring2003CCmtng/Spring_03_CC.htm]
- Henshaw, D.L., Sheldon, W.M., Remillard, S.M., Kotwica, K. 2006. *ClimDB/hydroDB: a web harvester and data warehouse approach to building a cross-site climate and hydrology database*. Proceedings of the 7th International Conference on HydroScience and Engineering, Philadelphia, USA.
- Hobbie, J.E. 2003. Scientific accomplishments of the Long Term Ecological Research Program: an introduction. *BioScience* 53:17-20.
- ILTER, la red global de estudios ecológicos a largo plazo. 2010. [Referencia en la web. <http://www.ilternet.edu>]
- Madin J., Bowers, S., Schildhauer, M., Krivov, S., Pennington, D., Villa, F. 2007. An ontology for describing and synthesizing ecological observation data. *Ecological Informatics* 2:279-296.
- Magnuson, J. 2006. *History of LTER*. LTER All Scientist Meeting, Estes Park, CO, EE.UU. [Recurso disponible en http://asm.lternet.edu/sites/asm.lternet.edu/files/video/LTER_FINAL_DVD_NEW.mov]
- McGuire M., Gangopadhyay, A., Komlodi, A., Swan, C. 2008. A user-centered design for a spatial data warehouse for data exploration in environmental research. *Ecological Informatics* 3:273-285.
- McPhillips T., Bowers, S., Zinn, D., Ludäscher, B. 2009. Scientific workflow design for mere mortals. *Future Generation Computer Systems* 25:541-551.

Michener W.K., Brunt, J.W., Helly, J.J., Kirchner, T.B. Stafford, S.G. 1997. Nongeospatial metadata for the ecological sciences. *Ecological Applications* 7:330-342.

Pérez-Luque A.J., Bonet García, F.J., Zamora, R. 2009. Herramientas colaborativas para la creación de conocimiento útil para la gestión en el proyecto de Seguimiento del Cambio Global en Sierra Nevada. En: *Libro de resúmenes IX Congreso Nacional de la Asociación Española de Ecología Terrestre: La dimensión ecológica del desarrollo sostenible: Ecología, del conocimiento a la aplicación*. pp. 185., AEET, Úbeda, Jaén, España.

Piwovar, H.A., Day, R.S., Fridsma, D.B. 2007. Sharing detailed research data is associated with increased citation rate. *PLoS One* 2(3). [Disponible en <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1817752/>]

Porter, J.H., 1997. *Prototyping options for all-site LTER data catalog*. [Disponible en <http://www.vcrter.virginia.edu/dimes/presentations/PORTER/DTOC97/>]

Rauscher H.M. 1999. Ecosystem management decision support for federal forests in the United States: A review. *Forest Ecology and Management* 114:173-197.

Rittel H., Webber, M.M. 1973. Dilemmas in a general theory of planning. *Policy Sciences* 4:155-169.

San Gil, I. 2007. *LTER to meet metadata standardization milestone this summer*. [Disponible en <http://intranet.lternet.edu/modules.php?name=UpDownload&req=getit&lid=548>]

San Gil, I., Gries, C. 2008. *Resumen de los sistemas de información*. [Disponible en <http://intranet.lternet.edu/im/siteprofiles>]

San Gil, I., Baker, K., Campbell, J., Denny, E.G., Vanderbilt, K., Riordan, B., Koskela, R., Downing, J., Grabner, S., Melendez, E., Walsh, J.M., Kortz, M., Conner, J., Yarmey, L., Kaplan, N., Boose, E.R., Powell, L., Gries, C., Schroeder, R., Ackerman, T., Ramsey, K., Benson, B., Chipman, J., Laundre, J., Garritt, H., Henshaw, D., Collins, B., Gardner, C., Bohm, S., O'Brien, M., Gao, J., Sheldon, W., Lyon, S., Bahauddin, D., Servilla, M., Costa, D., Brunt, J. 2009. The long term ecological network metadata standardisation implementation process: A progress report. *International Journal of Metadata, Semantics and Ontologies* 4:141-153.

Soberon J., Peterson, A.T. 2004. Biodiversity informatics: managing and applying primary biodiversity data. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Serie B Biological Sciences* 359:689-698.

Usluel Y.K., Mazman, S.G. 2009. Adoption of Web 2.0 tools in distance education. *Proceedings of Social and Behavioral Sciences* 1:818-823.

Woolman M. 2002. *Digital Information Graphics*. Thames and Hudson eds. Nueva York. USA.

Zlatic V., Bozicevic, M., Stefancic, H., Domazet, M. 2006. Wikipedias: collaborative web-based encyclopedias as complex networks. *Physical Review E (Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics)* 74:116-115.