

El uso de artrópodos como indicadores biológicos

Ignacio RIBERA¹ y Garth FOSTER² *

⁽¹⁾ Dr. Massana 14 - 2; 08760 Martorell, Barcelona (ESPAÑA).

⁽²⁾ Environmental Division, The Scottish Agricultural College, Auchincruive, Ayr KA6 5HW (ESCOCIA).

* El Scottish Agricultural College recibe soporte financiero del Scottish Office Agriculture, Environment and Fisheries Department.

Resumen: Un indicador es una medida indirecta de algo, es decir, una variable asociada a la que realmente queremos medir, pero que por las razones que sean no medimos directamente. Hay dos situaciones generales en las que el uso de indicadores está justificado: cuando la información de interés no es mensurable directamente, o cuando, siendo mensurable, hacerlo es más difícil o costoso que utilizar un indicador.

Hay muchos posibles usos de los artrópodos como indicadores, aunque su uso real es mucho más limitado. Uno de los más frecuentes es la reconstrucción de ambientes a partir de restos de los artrópodos que en ellos se encontraban, ya sean paleoambientes (en cuyo caso hablamos de paleoentomología), o ambientes más próximos (en cuyo caso podemos hablar de entomología forense sensu lato). Otras aplicaciones son la estimación de la riqueza específica de una zona o ambiente a partir de grupos o taxa de alto rango que actúan como indicadores, la caracterización y seguimiento de ecosistemas, sobre todo desde un enfoque conservacionista, o la detección de alteraciones de los ecosistemas que es difícil medir y cuantificar de un modo directo.

THE USE OF ARTHROPODS AS BIOLOGICAL INDICATORS - summary

What is an indicator, and when should it be used?

An indicator is a surrogate measure of something, i.e., an indirect measure of the variable of interest, which is not directly measured. The arthropods act as indicators when they tell us something that we cannot measure directly, or measure only at a higher cost (in time, effort - and money). It does not make much sense to suggest the use of a list of Latin binomials as a surrogate measure of any variable when it is easier to get the real thing (as proposed in some otherwise pure ecological or faunistic papers). The use of indicators is no different from the use of any correlation with predictive purposes and it is subject to the same limitations: there is always a loss of information (except for a perfect correlation), it is not possible to extrapolate beyond the limits of the known reference values, and correlation does not necessarily demonstrate causation. It is important to attach some kind of statistical significance to the indicator value (although statistical significance is not necessarily associated with a high predictive value).

Main uses of arthropods as indicators

First of all, why arthropods? Other than that this is an entomological journal, arthropods (or at least some of them) do have the properties of an indicator, as measured by any of the usual standards (see e.g. Table 1, and Noss, 1990; Brown, 1991; or Pearson, 1994). Although 'arthropods' do include all forms of the Phylum, in this revision we will deal only with terrestrial and freshwater animals, but not marine organisms.

There are two main situations in which the use of indicators is justified: when it is not possible to measure the variable of interest, and when, despite being possible, the use of an indicator as a surrogate measure is preferred for whatever reason.

Use of indicators when it is not possible to measure the real thing

If we cannot get direct access to an environment, we can reconstruct some of its characteristics through the study of the arthropods that lived in it. This is the basis of some of the most sound uses of arthropods as indicators. Depending on the temporal scale with which we are dealing, it is possible to distinguish two types of uses - palaeoecology and forensic entomology.

The use of arthropods, and insects, specially beetles, is well known in the reconstruction of past environments. It is based on the evolutionary stability of the species of insects, both in what refers to their morphology and to their environmental requirements (Coope, 1979; Elias, 1993; see Angus & Ribera, 1996 for a recent, more accessible review). Other than for environment

reconstruction, fossil arthropods can also be used as indicators of past biogeographic relationships (and of the geological history of the corresponding areas).

The term forensic entomology *sensu lato* can be extended to the use of arthropods to reconstruct environments or circumstances of which there is no information other than the associated arthropod fauna, being maggots in a corpse or bark beetles in an old cuckoo clock.

Another possible use of arthropods as indicators takes advantage of their condition as 'black boxes' that integrate a complex and sometimes unmeasurable series of environmental conditions. There is no direct measure of the 'naturalness' of a forest, but the composition of their saproxylic community can be of much help (Lott, 1996). It is not possible to directly measure things such as the 'rarity' or the 'typicalness' of an habitat, but it is possible to do so for some of their inhabitants (Foster, 1987, 1996; Eyre & Rushton, 1989; Ribera & Foster, 1992). If we assume that the rarity or typicalness of the chosen group is correlated with the rarity or typicalness of all the other organisms and the habitat itself (something rather dubious, as we will see below), we have an indicator. Many arthropods have complex life cycles that to complete development require specific conditions on more than one habitat, often forming an ecotone (e. g. aquatic insects with aerial adults). Adult populations thus integrate different sources of information, usually coming from the same area (few invertebrates migrate, so permanently resident species indicate what is going on at one spot, not in far distant breeding grounds - as may happen with migrant birds).

Use of indicators when it is possible to measure the actual thing, but it is preferable not to do so

Continuous monitoring for possible pollution peaks in a stream can be extremely expensive and time-consuming, but with a single macroinvertebrate sample it could be possible to detect episodes of habitat disturbance, at least within the generation time of the organisms studied. The same applies to soil disturbance in ground-dwelling fauna, general climatic conditions, other associated fauna, etc. This another use of the arthropods as 'black boxes', this time to indicate conditions that, although directly measurable, could be easier or more convenient to measure indirectly with the use of indicators.

Another important field in which the use of arthropods as indicators is well justified is in the estimation of biodiversity, generally with an applied view focused on conservation. Two approaches have been used: the number of higher taxa as a surrogate of species richness (Gaston & Williams, 1993), and the number of species in one group as a surrogate of the number of species of other groups (of which the indicator group may be part or not) (Hammond, 1994). The basic assumptions underlying these uses are in the first case that there is a predictable relationship between the number of higher taxa (usually families) and the number of species across taxonomic groups and geographical areas, and secondly that there is a correlation (usually positive) between the diversity of different groups in the same area. These assumptions have been tested in a number of papers (see e.g. Prance, 1994; Williams & Gaston, 1994; Williams et al., 1994; Andersen, 1995; Gaston & Blackburn, 1995; Gaston et al., 1995; Blamford et al., 1996; Roy et al., 1996 for the use of higher taxa; and Hammond, 1994; Beccaloni & Gaston, 1995; Gaston et al., 1995; Prendergast & Eversham, 1997; or Kerr, 1997 for the assessment of the correlation between diversity in different groups). The results are various, but in general rather disappointing. There is no sound justification as to why two or more groups, each with different ecological requirements, different evolutionary history, and using resources at a different scale (both temporal and spatial) should show parallel variation in the number of species across different areas. And in fact they do not seem to show this kind of correlation (Kerr, 1997); the concept of the 'umbrella' group is rather dubious. Thus the general assumption made by conservationists that conservation of a major group in the public eye will achieve conservation of all the more obscure groups may prove completely false.

Some groups of Arthropods used as indicators

Table 1 summarises some of the desirable characteristics of an indicator, which are similar to those proposed by other authors (e.g. Noss, 1990; Brown, 1991; Pearson, 1994; or Foster, 1996). There are some groups that fulfil many of these conditions, among them butterflies, dragonflies, and some beetles (most notably ground and water beetles). There is not, however, a 'universal' indicator, all groups having some drawback that prevents their use in a particular situation. One important question that cannot be forgotten is that we are dealing with indicators, i.e., the chosen group should be used to provide information about other groups or general habitat characteristics, not just about its own status.

Is it really of any use?

The actual use of arthropods as indicators (not the proposal or the assessment of their use) is common only in palaeoecology, forensic entomology, and the assessment of the conservation value of local habitats in some geographic regions (mostly in the UK, other northern European areas, and the US - not in Spain, of course). Arthropod conservation in Spain is almost unheard of (see Jiménez-Peydró & Marcos-García, 1994), and the use of arthropods as indicators is hardly any better.

Indicador, ra. adj. Que indica o sirve para indicar.
Indicar. (Del lat. *indicare*.) tr. Mostrar o significar
una cosa con indicios y señales.
(Real Academia Española, 1992).

¿Qué es un indicador, y cuándo (y cuándo no) puede usarse?

La definición de indicador (y de indicar) con la que encabezamos este artículo es, como toda definición que se precie, necesariamente breve, pero clara: un indicador es lo que nos sirve para indicar, para mostrar o señalar algo sobre lo que no se ha puesto la atención directamente. Aplicado al uso que nos concierne, los artrópodos actúan como indicadores cuando muestran o señalan, cuando nos aportan información de algo que no se ha observado directamente. Este es un punto clave que parece que en ocasiones tiende a olvidarse: puesto que un indicador no es una medida directa de lo que se quiere observar, con el uso de indicadores necesariamente se pierde información. Su uso está justificado sólo en las ocasiones en las que o no puede accederse a la información original (la que se pretende obtener), o se considera más conveniente (por motivos que pueden ser muy diversos, como veremos después) acceder a esta información de modo indirecto, a través de un indicador. No tiene mucho sentido utilizar presuntos 'indicadores' para obtener una información que es más fácil obtener directamente. Cuando se dice de una especie de artrópodo que es un indicador de determinadas condiciones ambientales, como la altura, el pH, o el grado de mineralización del agua, hay que preguntarse si en el contexto en el que se ha utilizado no sería más fácil utilizar un altímetro, un pH-metro, o un salinómetro. Planteado de esta forma puede parecer obvio: si alguien quiere saber a la altura a la que se encuentra mira un altímetro o consulta un mapa, no se dedica a recopilar una lista de las especies de su grupo preferido de artrópodos y después deduce un rango altitudinal aproximado. Pero en más de una ocasión parece que éste es el propósito de los que alegan un valor 'indicador' a las conclusiones de un estudio faunístico o ecológico.

El uso de indicadores se fundamenta en la suposición de que la presencia o la abundancia de una especie, o un determinado conjunto de especies, esté correlacionada con la variable que deseamos medir. El caso es semejante al uso de una correlación entre dos variables con fines predictivos, esto es, conocidos los datos de una variable (la presencia de los indicadores), se predicen los posibles valores que toman otras variables (la información indicada). Todas las limitaciones y precauciones que son bien conocidas para el uso predictivo de las correlaciones son perfectamente aplicables en este caso: la correlación no implica causalidad (no tiene por qué haber una relación de causa-efecto entre la presencia del indicador y la variable indicada), no es posible extrapolar fuera del rango conocido de las variables, y es necesario (o por lo menos conveniente) asociar un nivel de significación cuando se utiliza con fines predictivos. Este último punto es crucial: para utilizar un artrópodo como indicador de algo, es preciso demostrar previamente que existe una asociación estadísticamente significativa entre su presencia (o abundancia en algunos casos) y la variable que se quiera indicar. Basta hacer un somero repaso a mucha de la literatura sobre indicadores para comprobar que éste no suele ser el caso.

Principales usos de los artrópodos como indicadores

Ante todo procede plantearse una pregunta: ¿por qué artrópodos y no cnidarios o gastrotricos? Para no extendernos demasiado, es suficiente decir que es el grupo de macroorganismos más diversificado en la actualidad, están en

todos los ambientes en una diversidad y abundancia muy superior a la de otros grupos, son relativamente fáciles de recolectar, conservar y estudiar, hay especies estrechamente asociadas a prácticamente todos los ambientes y circunstancias que uno pueda imaginar, gracias a su exoesqueleto sus restos se pueden preservar durante mucho tiempo en determinadas condiciones naturales, forman parte sustancial de la mayoría de cadenas tróficas en todos los ambientes, y éste es un volumen editado por una sociedad entomológica (a cuyos intereses gremiales no somos, por supuesto, ajenos). Si cabe hacer una distinción: si bien 'artrópodos' incluye todos los órdenes del phylum, el término 'entomología' tradicionalmente se refiere a los insectos cuando se utiliza en sentido estricto, más otros grupos de artrópodos terrestres o de aguas continentales si se hace en sentido amplio. En este trabajo no vamos a incluir artrópodos marinos (aunque el planteamiento general se puede aplicar a ellos, como a cualquier otro grupo de organismos).

Como hemos dicho, hay dos tipos de situaciones en las que el uso de indicadores es apropiado: cuando no se puede acceder directamente a la información de interés, o cuando acceder a esta información es más difícil o más costoso que el uso de un indicador.

Indicadores de información a la que no es posible acceder directamente

Dentro de este primer caso, si no es posible acceder directamente a un ambiente, se pueden reconstruir algunas de sus características sobre la base de las especies que lo habitan (o habitaron en algún momento pasado). Dependiendo de las causas por las que no es posible acceder directamente a esta información ambiental tendremos diferentes usos de artrópodos como indicadores.

• **PALEOECOLOGÍA:** No es posible medir directamente las características ambientales de ecosistemas que ya no existen, pero sí se pueden reconstruir conociendo las especies de artrópodos que los habitaban. La reconstrucción de paleoambientes es posiblemente una de las principales utilidades de los artrópodos como indicadores, y en las que su uso está más justificado. La utilización de artrópodos en paleoecología descansa en dos hechos básicos: hay especies que están muy ligadas a la presencia de determinadas condiciones ambientales, y esta asociación se mantiene a lo largo de la vida evolutiva de la especie. Como la inmensa mayoría de especies que aparecen en depósitos fósiles de los últimos dos millones de años son morfológicamente idénticas a las actuales, es posible conocer con detalle sus requerimientos ambientales, y por tanto deducir las características de los ambientes en los que vivieron (Coope, 1979; Elias, 1993; ver Angus & Ribera, 1996 para un resumen del uso de artrópodos en paleoecología del Cuaternario).

En el caso de faunas más antiguas (en general anteriores a los últimos periodos del Terciario), como muchas de las especies que aparecen se han extinguido no es posible conocer con detalle sus requerimientos ambientales, pero sigue siendo posible su uso como indicadores basándose en características comunes de taxa de rango más alto: el origen de muchos de los géneros de insectos actuales se remonta como mínimo a inicios del Mioceno, y hay muchos géneros en los que todas sus especies conocidas comparten alguna característica que posibilita su uso como indicadores.

En algunos casos no sólo es posible una reconstrucción del ambiente, sino también una reconstrucción de las circunstancias concretas en las que se formó el depósito fósil,

que indirectamente (es decir, *indicando*) proporcionan gran cantidad de información interesante sobre el funcionamiento y las características de ambientes pasados (ver por ejemplo la reconstrucción casi detectivesca de las circunstancias en las que se formó un depósito de ámbar dominicano con hormigas incluidas en Wagensberg *et al.*, 1997).

Un caso particular sería el uso de artrópodos en arqueología (Moret, 1996), que posibilita tanto la reconstrucción del ambiente general como de aspectos mucho más concretos de las circunstancias que hicieron posible la presencia de las especies de artrópodos que se encuentran en estos depósitos.

• **ENTOMOLOGÍA FORENSE:** El uso de artrópodos en entomología forense se corresponde perfectamente con la definición de indicador que hemos dado, ya que se utiliza la presencia o la abundancia de determinadas especies de artrópodos para deducir una información a la que no es posible acceder directamente, como puede ser el ambiente en el que ha estado un objeto y el tiempo que ha estado en él (sea un cadáver lleno de cresas o un reloj de cuco lleno de escolítidos). Los usos de los artrópodos en medicina legal y forense se tratan en este mismo volumen (González, 1997), por lo que no entraremos en más detalles.

Es posible imaginar otros casos en los que los artrópodos puedan ser útiles para reconstruir las condiciones o circunstancias que posibilitaron su presencia, pero en general cabe agruparlas en las dos grandes líneas expuestas anteriormente, dependiendo de la escala temporal de la que se trate: entomología forense (en un sentido amplio, no en una interpretación legalista estricta) si se trata de periodos recientes, y paleoentomología cuando se estudian periodos más antiguos.

• **ARTRÓPODOS COMO 'CAJAS NEGRAS' (I):** Cuando la información a la que se pretende acceder consiste en variables que son difícilmente mensurables o cuantificables, es posible la utilización de artrópodos como indicadores. Son, por ejemplo, casos para los que no existen aparatos capaces de medir directamente características de los ecosistemas tales como su persistencia, su estabilidad, su complejidad... (no existen ni siquiera definiciones claras de lo que se quiere decir al emplear estos términos, así que cuánto menos sistemas de medida directa).

La idea básica subyacente al uso de artrópodos como indicadores de estas características generales de los ecosistemas es que la sola presencia (o abundancia) de algunas especies es el producto de una larga y compleja lista de circunstancias que la han hecho posible. Los detalles de este proceso son difíciles de dilucidar, pero no son necesarios siempre que se puedan asociar las condiciones iniciales y el producto final: el proceso, el interior de la 'caja negra', es la información que no resulta mensurable directamente, y de la que la especie o las especies de artrópodos actúan como indicadores. Los cambios cualitativos en la estructura de las comunidades de artrópodos pueden actuar como indicadores de alteraciones ecológicas difícilmente mensurables de otra forma (Noss, 1990; Brown, 1991). La explicación de algunos ejemplos puede aclarar un poco las cosas.

Hay especies de insectos que, salvo raras excepciones, sólo se encuentran en bosques primarios o muy antiguos, que hayan mantenido unas condiciones 'naturales' durante largo tiempo. Muchas de estas especies necesitan condiciones muy particulares para su desarrollo -maderas en distintos grados de descomposición, condiciones de humedad y temperatura precisas, etc.-, que pueden incluso variar dependiendo de la fase del ciclo en la que se encuentren. Los detalles de estos

requerimientos son en la mayoría de los casos desconocidos, pero para utilizar estas especies como indicadores no es necesario conocerlas. La condición de 'naturalidad' de un bosque es muy difícil de cuantificar, pero una medida indirecta que se ha utilizado con éxito es la de la presencia de una comunidad desarrollada de estos insectos saproxílicos (Lott, 1996). Es posible de este modo tanto evaluar la importancia real de la conservación de un bosque que se presume antiguo y bien conservado, como efectuar un seguimiento de su evolución y de las posibles alteraciones que pueda sufrir.

Además de la 'naturalidad', otras propiedades de los ecosistemas muy complicadas de medir directamente, pero muy importantes para la gestión de los sistemas naturales, son las de 'rareza' y 'tipismo'. Una posibilidad en estos casos es utilizar uno o varios grupos de artrópodos como indicadores: el estudio mediante técnicas multivariantes de las comunidades de los diferentes hábitats de una zona permite su ordenación y clasificación en base a criterios perfectamente cuantificables de rareza o tipismo (Foster, 1987, 1996; Eyre & Rushton, 1989; Ribera & Foster, 1992). Hay que recordar aquí que estamos tratando el uso de artrópodos como indicadores, es decir, no se trata de caracterizar la rareza o el tipismo de las comunidades del propio grupo que estamos estudiando, sino del hábitat en general. Una presunción básica en este caso es que la rareza o tipismo de los grupos que utilizamos como indicadores está correlacionada con la rareza o el tipismo del hábitat en general, incluyendo otros grupos de organismos que no se observan directamente. Esta presunción es muchas veces cuestionable, como veremos más adelante.

Muchos artrópodos tienen ciclos de vida complejos, que requieren condiciones específicas en dos o más hábitats, a menudo formando un ecotono. Así, algunos insectos tienen larvas acuáticas, pero los adultos son de vida aérea, y su presencia continuada en un hábitat requiere condiciones específicas tanto del medio acuático como del terrestre circundante. Por ejemplo, hay especies de odonatos que precisan un tipo concreto de aguas corrientes para las larvas, y de árboles para los adultos. O el caso de especies con ciclos de vida muy complejos con alguna fase parásita, que integran los requerimientos propios y los de todas las especies huésped (que a menudo son también artrópodos). Los adultos integran de esta forma información proveniente de distintas fuentes, habitualmente de una misma zona: hay pocos invertebrados que migren, de modo que su supervivencia es reflejo de lo que sucede localmente, no en lejanas zonas de cría (como sucede con las aves migratorias, por ejemplo).

Un caso muy concreto es el uso de artrópodos como indicadores de la calidad del agua, tratado específicamente por Pujante (1997) en este mismo volumen. Cuando lo que se pretende es caracterizar la calidad biológica en general, no características concretas y puntuales del agua (que se obtienen más fácil, y de modo mucho más preciso, mediante otros instrumentos de medida), la comunidad de macroinvertebrados (en su mayoría artrópodos) puede utilizarse como indicadora.

Indicadores de información a la que sí es posible acceder directamente

En estos casos, sí es posible acceder, al menos teóricamente, a la información, pero se usan indicadores por resultar mucho más sencillo y económico (tanto en tiempo como en esfuerzo -esto es, en dinero). Uno de estos casos, muy relacionado con el apartado anterior, se presenta cuando se

aprovecha la propiedad de los artrópodos de sintetizar en una sola variable (su presencia y/o abundancia) múltiples y complejas características del medio en el que viven. La segunda está muy directamente relacionada con la conservación, y es la que utiliza a los artrópodos como indicadores de la diversidad general de los ecosistemas en los que viven.

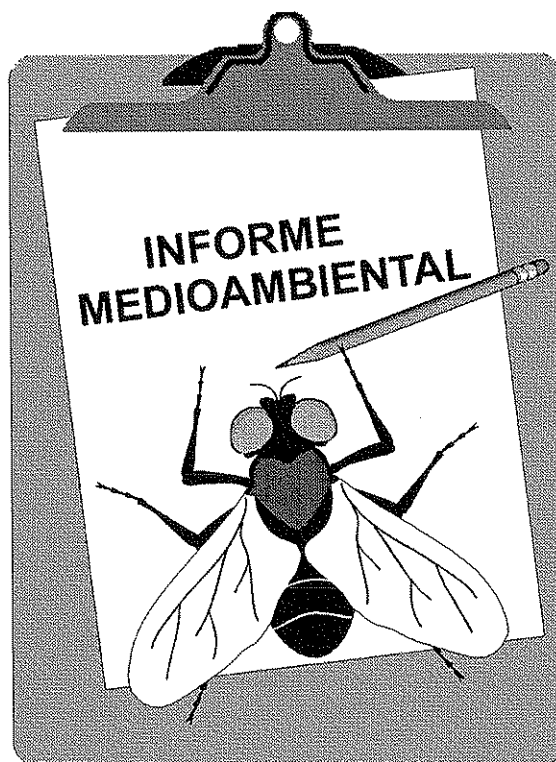
• ARTRÓPODOS COMO 'CAJAS NEGRAS' (Y II):

Anteriormente vimos el uso de artrópodos como indicadores de propiedades generales de los ecosistemas que no es posible medir directamente. En este apartado incluimos casos en los que sí es posible medir directamente la información deseada, pero se hace preferible el uso de indicadores. En ambientes variables, tanto por causas naturales como por efecto de alteraciones antrópicas, efectuar un seguimiento continuado de las características del medio puede ser costoso y muchas veces inviable. Por ejemplo, controlar directamente la ocurrencia de pulsos esporádicos de eutrofización o contaminación en un río puede requerir la toma de muestras de agua cada pocas horas. Controlar la presencia o la abundancia de organismos sensibles a estos pulsos esporádicos es un modo alternativo que puede ser más sencillo y económico: una muestra estacional puede aportar información no sólo de las condiciones del agua en el momento en el que se toma, sino de las condiciones de, como mínimo, todo el periodo de desarrollo de la población muestreada. Del mismo modo, la comunidad de artrópodos de un ecosistema puede aportar mucha información sobre sus condiciones generales en un tiempo más o menos largo, dependiendo del grupo que se utilice como indicador: perturbaciones mecánicas del suelo, ocurrencia de heladas esporádicas o de periodos de sequía, presencia de otra fauna asociada...

• **USO DE ARTRÓPODOS COMO INDICADORES DE BIODIVERSIDAD:** Aunque teóricamente es posible inventariar todas las especies que viven en un determinado ecosistema o en una zona geográfica, es algo que no se ha hecho nunca. Existen aproximaciones más o menos afortunadas, que siempre llevan asociadas un enorme esfuerzo y tiempo de dedicación, pero que inevitablemente son incompletas (para un ejemplo tan meritorio como cercano, ver Blasco-Zumeta, 1996). Sin embargo, conocer la diversidad, medida como la riqueza en especies, es fundamental no sólo por su importancia en cuestiones básicas tanto de ecología como de sistemática o biogeografía, sino para la gestión y -sobre todo- la determinación de áreas o ecosistemas a proteger prioritariamente (y, en consecuencia, de cuáles son sacrificables). Debido a la imposibilidad de medir la diversidad directamente en un tiempo razonable, se hace necesario desarrollar métodos de estimación indirecta, y es aquí dónde entran en escena los artrópodos como indicadores.

Es necesario insistir en que, en estos casos, la biodiversidad es considerada exclusivamente como una medida de la riqueza o inventario de especies presentes en el área o ecosistema, pues en otros casos, la medición de la biodiversidad a través de indicadores resulta mucho más compleja (ver el artículo de Martín-Piera, 1997, en este volumen, a propósito de las dificultades asociadas a la medición de la diversidad biológica).

Hay dos formas de utilización de los artrópodos como indicadores de la biodiversidad general de los ecosistemas en los que viven. La primera es el uso del número de taxa de alto rango (generalmente familias, aunque en ocasiones también géneros) para predecir el número de especies, y la segunda es



el uso del número de especies de un grupo determinado para predecir el número de especies de otros grupos.

En el primer caso se puede plantear un problema casi epistemológico: hemos comentado que indicador es aquello que da información sobre una variable asociada que no se mide directamente. Si se usa el número de familias de coleópteros para predecir el número de especies de mariposas no hay problema, pero si se usa para predecir el número de especies de coleópteros, ¿podemos hablar de indicadores? En cierto modo dependerá del concepto que tengamos de la naturaleza (real o meramente virtual) de los taxa de rango superior a la especie (por no entrar en el comprometido asunto de las especies...). Nuestra opinión es que, puesto que la presencia de una familia no se mide tampoco directamente, sino que lo que se mide es la presencia de al menos una especie perteneciente a esa familia, y puesto que la presencia de una especie observada es utilizada para predecir la posible presencia de otras muchas especies de esa misma familia que no se han observado, estamos en un caso que encaja perfectamente con la definición dada de indicadores. Si alguien considera que 'familia' es algo más que la suma de las especies que la componen puede no estar muy de acuerdo, pero en todo caso, y dejando al margen estas disquisiciones un tanto bizantinas, lo importante es que la utilización del número de géneros o familias como indicadores de la riqueza específica es una posibilidad que ha suscitado cierto interés, aunque plantea algunos problemas.

La suposición básica subyacente a este uso es que en términos generales la distribución de especies en géneros, de géneros en familias, etc., tiene ciertas regularidades, que son además las mismas en distintas zonas geográficas y a distintas escalas. Si esto fuese así, conociendo el número de taxa superiores sería fácil obtener una estimación del número de especies. Contabilizar el número de taxones de alto rango en un área determinada es mucho más fácil que identificar todas las especies que los componen, tanto porque supone un esfuerzo de muestreo mucho menor (basta un ejemplar de

una especie del taxon para atestiguar su presencia) como porque no es necesario identificar los ejemplares hasta especie, la tarea sin duda más difícil y laboriosa (identificar al nivel de familia, e incluso de género, es con frecuencia relativamente sencillo). El rango de los taxa a utilizar dependerá en buena medida de la escala geográfica a la que se trabaje: para comparar dos zonas próximas, con una fauna relativamente similar, será necesario utilizar taxa de rango lo más bajo posible, en general género, porque las diferencias al nivel de familia pueden ser mínimas. Para comparar faunas de distintas regiones biogeográficas es más habitual utilizar familias (o incluso órdenes), con las que ya se pueden obtener diferencias significativas. Cuando se comparan tipos de ambientes muy generales (por ejemplo, océanos vs. aguas epicontinentales vs. superficies emergidas) es posible incluso utilizar Phyla (May, 1994). Se pueden efectuar comparaciones, además de entre zonas geográficas existentes, entre faunas pasadas. De hecho, en paleontología existe una larga tradición en el uso de taxa de alto rango como indicadores de la riqueza específica, y en buena parte fue esta tradición paleontológica la que inspiró a los neontólogos (Gaston & Williams, 1993). En paleontología el problema es muchas veces más grave, pues frecuentemente resulta imposible detectar e identificar todas las especies de una fauna debido a lo incompleto del registro fósil (con lo que estaríamos, por tanto, en un caso de uso de indicadores para predecir información que no es obtenible directamente). Muchas especies desaparecen sin dejar rastro, pero es menos probable que lo haga una familia entera.

Tras la exposición de los principios teóricos del uso de taxa de alto rango como indicadores de la diversidad específica (Gaston & Williams, 1993) empezaron a surgir trabajos intentando comprobar la eficacia del método, con resultados muy diversos. Entre ellos, Prance (1994) comparando familias y géneros de diversos grupos de plantas en las zonas Neotropical, Etiópica y Oriental (con resultados negativos: concluyen que sólo utilizando especies se obtiene una medida fiable de la diversidad); Williams & Gaston (1994) con familias de helechos y mariposas en el Reino Unido, aves paseriformes en Australia, y murciélagos centro y norteamericanos (con resultados positivos: concluyen que si se eligen adecuadamente los grupos, la riqueza de familias es una buena indicadora de la riqueza específica); Williams *et al.* (1994) con familias de fanerógamas en todo el mundo (con resultados también positivos); Gaston *et al.* (1995) para familias de fanerógamas, coleópteros, anfibios, reptiles y mamíferos de todo el mundo (con resultados algo más confusos, en particular debido a la falta de coincidencia entre familias de coleópteros y familias de otros grupos taxonómicos); Andersen (1995) con géneros de hormigas en Australia (con resultados dependiendo de la escala geográfica: dentro de una misma zona la correlación entre número de especies y número de géneros era buena, pero para la fauna australiana en conjunto, muy pobre); Gaston & Blackburn (1995) con géneros y familias de aves en las regiones Neártica y Neotropical (con resultados positivos, encontrando una elevada correlación entre el número de especies y el número de géneros o familias); Balmford *et al.* (1996) con géneros, familias y órdenes de angiospermas, aves y mamíferos de la región Indo-malaya y áreas adyacentes del Pacífico (con resultados también diversos: a pesar de una buena correlación general, el valor predictivo es bajo, en particular cuando se utilizan los taxa de mayor rango, y -lo que es más importante- en zonas de máxima diversidad); o Roy *et al.* (1996) con moluscos marinos del Pacífico oriental,

y con resultados dependiendo de la escala geográfica: las familias proporcionan una muy buena indicación de la diversidad en grandes zonas biogeográficas, pero en comparaciones a escala regional es necesario utilizar al menos géneros. Estos autores enfatizan también la necesidad de contar con buenos inventarios de al menos algunas zonas de referencia, para poder calibrar la relación entre diversidad específica y diversidad genérica o de familias.

La conclusión principal que se obtiene tras el examen de estos trabajos, y otros de características y resultados similares, es que el tema se encuentra todavía en fase de estudio, por lo que no es posible una aplicación práctica inmediata. No existen datos fiables a las escalas a las que presumiblemente podrían ser de utilidad en la gestión de zonas protegidas: saber que el número de familias es un buen indicador del número de especies cuando se compara la región Neotropical con la Australiana no sirve de mucho si lo que se intenta estimar es la riqueza de dos zonas de selva atlántica andina para decidir cuál va a protegerse y cuál a cederse a las compañías madereras. Otra dificultad del método es que lo que se pretende estimar es la diversidad específica de una zona, y establecer esta riqueza como criterio de calidad para la conservación. La simple acumulación de especies es sin duda un valor a tener en cuenta, pero no es en absoluto el único criterio de valoración posible.

El segundo caso planteado consiste en el uso de la riqueza de especies de un grupo de artrópodos como indicadores de la riqueza de especies de otros grupos, o, de modo más general, de la riqueza total de especies de una zona o de un ecosistema. Aunque el planteamiento puede parecer similar al del caso anterior, el principio en el que se basa es totalmente distinto: en este caso, la presunción es que existe una correlación significativa entre la diversidad de distintos grupos en una misma zona. Para que esta correlación tenga valor predictivo no es necesario que sea positiva, basta con que sea alta, aunque por lo general se asume que la elevada riqueza en especies de un grupo se asocia (si es que se asocia a algo) a una elevada riqueza de especies de los otros.

Los métodos para estimar la diversidad extrapolando la información obtenida mediante indicadores son en general de cuatro tipos (Hammond, 1994):

Métodos no jerárquicos:

- Número de especies en el grupo A para predecir el número de especies en el grupo B (por ejemplo, mariposas y escarabajos).
- Número de especies en el área A para predecir el número de especies en el área B (por ejemplo, isla A e isla B).

Métodos jerárquicos:

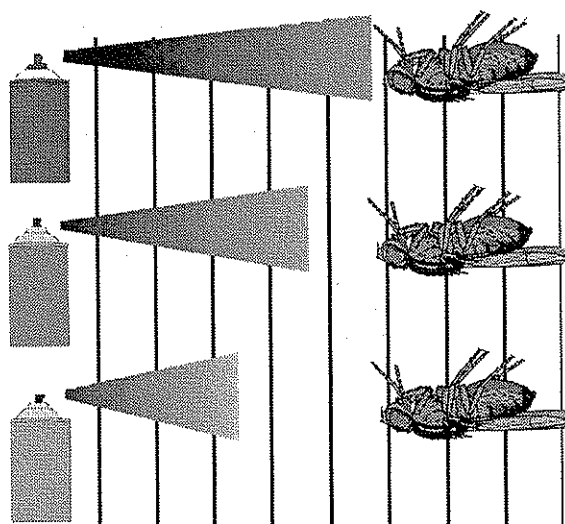
- Número de especies en un subgrupo para predecir el número de especies de todo el grupo (por ejemplo, mariposas e insectos).
- Número de especies en una localidad para predecir las especies de una zona que incluya a esta localidad.

Los grupos utilizados no tienen por qué estar taxonómicamente relacionados; puede tratarse de grupos funcionales, especies en un determinado microhábitat, etc. En general, y si se pretende que exista un uso real del grupo como indicador, éste debería ser de taxonomía sencilla (o lo más simple posible), biología bien conocida, distribución amplia y estar

presente en el mayor número de hábitats posible, pero con especies especializadas de distribuciones restringidas, fácil de muestrear, y con cierto atractivo 'popular' (Noss, 1990; Brown, 1991; Pearson, 1994; Tabla 1). Léase mariposas, libélulas, o algunas familias de escarabajos tratándose de artrópodos. El principio es sencillo: si en una zona bien conocida la proporción de mariposas respecto al número total de insectos es, por ejemplo, de 1 a 1000, en un área de selva tropical de la que sólo se conocen las mariposas, y si se mantiene la proporción, también habrá 1000 veces más insectos que mariposas. Como un caso extremo, la mayoría de estimaciones del número total de especies del planeta se basa de alguna forma en el uso de indicadores, y en concreto en el uso de estimaciones basadas en artrópodos (ver Melic & Ribera, 1996 para unos cuantos ejemplos).

El principio está bien, pero, ¿funciona? Hay dos grandes problemas en la aplicación práctica de la estimación de diversidad mediante indicadores: la obtención de una buena muestra de referencia, y la comparabilidad entre la muestra de referencia y la estimada. Idealmente, para extrapolar de una lista a otra las condiciones han de ser lo más semejantes posible, y las tres listas manejadas (grupo indicador en la lista de referencia, lista de referencia en la que se incluye el grupo indicador, y grupo indicador utilizado para la extrapolación) han de ser lo más completas posibles. No parece muy acertado, pongamos por caso, utilizar la proporción de especies de oribátidos respecto al número total de artrópodos en la fauna de un prado en los Pirineos para estimar el número total de artrópodos de un manglar del Caribe: probablemente la lista de oribátidos del Pirineo sea incompleta, la lista de artrópodos del Pirineo sea también incompleta, y la lista de oribátidos del manglar sea inexistente. Y aunque las tres fuesen completas, un prado del Pirineo no tiene por qué parecerse demasiado a un manglar del Caribe. No queremos dejar de aprovechar la ocasión para reivindicar aquí la utilidad de las buenas listas faunísticas, tan denostadas en ocasiones, pero que tanto se echan de menos cuando no existen -o cuando no son fiables. Y tampoco la de reivindicar la buena taxonomía en la confección de estas listas, no ya solo frente a la desidia en la adjudicación de binomios latinos, sino frente al uso de 'morfoespecies' definidas por parataxónomos con propósitos comparativos (ver Goldstein, 1997 para una defensa apasionada de la necesidad de una buena taxonomía, que compartimos plenamente).

A las primeras propuestas del uso de grupos bien conocidos como indicadores de diversidad siguió enseguida un gran número de trabajos intentando aplicar estos métodos a casos concretos. Los resultados, como era de esperar, son también muy variados. Pero independientemente de la posible panoplia de casos particulares, la pregunta esencial sigue siendo: ¿existe alguna razón especial por la que el número de especies de un grupo haya de estar relacionado con el de otro? Planteada así globalmente la respuesta probablemente tendría que ser negativa (Goldstein, 1997), pero cabe hacer algunas salvedades. A escalas geográficas amplias, o cuando se manejan listas de grupos variados y muy especiosos, existe una correlación significativa (por ejemplo, Gaston & David, 1994 para diversos grupos de plantas, insectos y vertebrados en Europa). Sin embargo, las correlaciones, aunque estadísticamente significativas, son bajas, no para todos los grupos, y no en todas las zonas. La utilización de un subgrupo para predecir la diversidad del grupo en su conjunto también parece tener cierta justificación, por lo menos en una misma región biogeográfica (ver los ejemplos utilizados por Hammond, 1994 para justificar la utilidad de



El hecho de que algunos artrópodos desaparezcan o, sencillamente, mueran cuando se producen ciertas condiciones, los convierte en 'buenos' indicadores ecológicos (a título póstumo).

estos métodos, o el uso de determinadas familias de mariposas -las más conocidas- para predecir el número total de lepidópteros en Beccaloni & Gaston, 1995). Pero también abundan los ejemplos negativos (por ejemplo, en Gaston *et al.*, 1995 con diversidad de familias en lugar de especies, o Prendergarst & Eversham, 1997 con diversos grupos en el Reino Unido). En una revisión muy reciente, las conclusiones de Kerr (1997) al estudiar la correlación de la diversidad y el grado de endemismo de varios grupos en la región Neártica son también negativas: encuentra relaciones significativas para un mismo taxon, pero no cuando se comparan taxones distintos. Quiere esto decir, básicamente, que el efecto 'paraguas' tantas veces invocado no funciona. Si se eligen áreas para ser conservadas en base a criterios basados en un grupo supuestamente indicador de la diversidad o el grado de endemismo de otros grupos (en general vertebrados, bien sean aves o mamíferos, como indicadores de invertebrados), no hay ninguna garantía de que estos otros grupos tengan en el área protegida un grado de diversidad o de endemismo superior al que tendrían si se eligiese al azar una zona con la misma superficie (Kerr, 1997).

Si grupos distintos tienen requerimientos ecológicos distintos, de modo que los factores ecológicos que posibiliten una elevada diversidad no coinciden entre ellos, no es de esperar una correlación entre sus respectivas riquezas de especies. Descartados los factores ecológicos, cabe pensar en una coincidencia en factores históricos: en zonas con una misma historia biogeográfica los factores que han hecho posible una elevada diversidad en un grupo pueden haber actuado en múltiples grupos, con lo que tendríamos un patrón biogeográfico o de distribución, o un centro de endemismo (Humphries *et al.*, 1995). El tema de los centros de endemismo y de su origen biogeográfico es en sí mismo de gran complejidad (ver por ejemplo, Croizat *et al.*, 1974; Harold & Moor, 1994; Morrone, 1994), sin necesidad de complicarlo con el uso de indicadores para detectarlos y caracterizarlos, y una exposición detallada nos alejaría del tema del presente artículo. Basta decir que distintos grupos también pueden responder de un modo distinto a un mismo conjunto de factores históricos, dependiendo en buena parte de las características ecológicas de las especies de cada grupo (no afecta lo mismo un cambio climático o la creación

de una barrera geográfica a una especie monófaga que a una polífaga, ni a una distribuida en múltiples poblaciones poco numerosas que a una concentrada en pocas poblaciones pero muy abundantes, por ejemplo). Quiere esto decir que las coincidencias suceden cuando se dan, pero es difícil predecir cuándo han de producirse, lo que dificulta enormemente la utilización de indicadores con fines predictivos.

Un problema adicional se plantea cuando lo que se quiere evaluar no es la riqueza total de especies, sino alguna otra medida -como por ejemplo la rareza de la fauna, su grado de endemismo, o su diversidad morfológica, funcional o evolutiva en lugar de la puramente taxonómica (Humphries *et al.*, 1995). Una elevada diversidad no tiene por qué estar correlacionada con un elevado grado de endemismo, o con una elevada proporción de especies raras (ver por ejemplo, Prendergast *et al.*, 1993; Williams *et al.*, 1996; Goldstein, 1997). Existen numerosos ejemplos de faunas 'pobres' con un alto grado de endemismo o una elevada representación de especies raras, como lo son la fauna de algunas zonas de media o alta montaña, algunas zonas áridas (como las estepas yesíferas del área mediterránea, incluida los Monegros), o la fauna de algunas islas y cuevas. Como ya hemos visto, si parece que pueda existir cierta correlación positiva entre el número total de especies y el número de endemismos en un mismo hábitat y para un mismo taxon (Kerr, 1997), pero estas coincidencias no se extienden cuando comparamos taxones distintos.

Con la medida de otras diversidades (filogenética, funcional, evolutiva) encontramos un problema añadido, y es que en general son mucho más difíciles de cuantificar que la riqueza taxonómica (es más fácil identificar especies que hacer filogenias, determinar grupos funcionales, o cuantificar morfoespacios de caracteres, ver Martín-Piera, 1997, en este volumen). Afortunadamente, parece ser que la riqueza taxonómica es un buen indicador de otros tipos de diversidad, lo que simplifica enormemente las cosas (Humphries *et al.*, 1995; Nee & May, 1997).

Algunos grupos de artrópodos utilizados como indicadores

Crustáceos, Miriápodos, Ácaros, y otros grupos extraños

La primera dificultad que el uso de estos grupos plantea es el escaso conocimiento que se posee de ellos, por lo que no se cumple uno de los principales requisitos de un buen indicador. Muchos de estos grupos son típicos habitantes de la fauna del suelo, lo que les confiere un interés especial, aunque existen otros factores que dificultan su posible uso como indicadores: un gran número de especies son de elevada tendencia antropófila, con requerimientos ecológicos banales (desde un punto de vista conservacionista) y que pueden encontrarse tanto en una maceta como en un bosque seminatural. Sin embargo, y sobre todo en zonas mediterráneas del Sur de Europa, hay un gran número de endemismos y de especies que potencialmente sí podrían utilizarse como indicadores de diversas condiciones del suelo, tanto desde un punto de vista ecológico como conservacionista. Aún en zonas más al Norte, donde el grado de sinantropismo y de banalidad de la fauna es mucho más elevado, existen algunas especies con potencial indicador (por ejemplo, algunos isópodos ligados a zonas de dunas costeras poco alteradas, o a humedales salobres también en la costa,

Bilton, 1996). A este respecto cabe señalar que en una evaluación de posibles grupos indicadores de aspectos biogeográficos y ecológicos de ecosistemas neotropicales, Brown (1991) (ver Tabla 1) sitúa en el grupo de cabeza, junto a algunas familias de mariposas y a las hormigas, a las termitas (con 21 puntos sobre un máximo teórico de 24), seguidas muy de cerca por los colémbolos. Esperanzador, pero un tanto optimista (¿quién es capaz de identificar colémbolos de modo rápido y sencillo?).

Arañas

Las arañas gozan de una situación parecida a la de algunos de los grupos mencionados anteriormente: su uso como indicadores es potencialmente importante, pero debido al escaso (casi nulo por nuestras latitudes) conocimiento de su taxonomía, diversidad, distribución, y requerimientos ecológicos, este uso se ve en gran medida imposibilitado. Los resultados obtenidos en zonas en las que la fauna se conoce relativamente bien son una muestra de lo que se puede hacer cuando el conocimiento básico de un grupo alcanza un nivel mínimamente respetable (ver por ejemplo, Luff & Rushton, 1989; Maelfait *et al.*, 1989; Eyre & Woodward, 1996).

Libélulas

Con los odonatos entramos ya en uno de los grupos con mayor carisma, que cumple muchos de los requisitos exigidos a un buen indicador: la identificación y el muestreo son relativamente simples (en muchos casos es posible realizarlos en el campo, sin alterar las poblaciones), son de tamaño grande y bien visibles, existe una buena información sobre su distribución y sus requerimientos ecológicos (aunque lo de 'buena' se mide en escalas diferentes dependiendo del ámbito geográfico), y son sensibles a cambios medioambientales, en parte debido a su condición de predadores (siendo por tanto buenas 'cajas negras') (Brooks, 1996; Tabla 1). Algunos inconvenientes son el limitado rango de ambientes en los que se encuentran, y la reducida diversidad específica de algunas zonas geográficas o de algunos ambientes.

Debido a su elevado atractivo, los odonatos son en sí mismo uno de los grupo con mayor interés para los conservacionistas, lo que hace que en ocasiones se confunda su uso como indicadores de características generales de los ecosistemas en los que viven con el estudio de su propio estado de conservación (en cuyo caso no actuarían como indicadores).

Escarabajos

Entre los coleópteros, por su diversidad extrema, encontramos familias de todo tipo: desde las que no cumplen prácticamente ninguna de las condiciones requeridas a un buen indicador (¿alguien ha oído hablar de los Eulichadidae? - ciertamente no celebrando sus virtudes como buenos indicadores), a las que obtienen las máximas puntuaciones, como Carabidae, Cicindelidae, o Cerambycidae. Hay casos intermedios, o grupos en los que algunas especies o grupos de especies, por ser bien conocidas, puede ser utilizados como indicadores, pero en los que el grueso de la familia difícilmente puede manejarse con eficacia (como los Curculionidae o los Chrysomelidae). Uno de los posibles grupos de coleópteros con un potencial indicador importante son los saproxílicos, típicos de bosques antiguos seminaturales, ya mencionados anteriormente. De entre el resto de los posibles

grupos, mencionaremos con más detalle dos, los carábidos, y los coleópteros acuáticos.

Existe una abultada bibliografía sobre todos los aspectos de la biología y la sistemática de los carábidos, incluyendo su uso como indicadores (ver, por mencionar obras recientes en las que se puede obtener una gran cantidad de información sobre temas muy variados, Desender *et al.*, 1994; Lövei & Sunderland, 1996; Luff, 1996; Niemelä, 1996). Se han utilizado sobre todo en el Reino Unido y los Países Bajos, por existir una gran tradición carabidológica en ambas zonas (aunque existen trabajos más o menos aislados de otros ámbitos geográficos), y principalmente en la evaluación, seguimiento y control de posibles alteraciones antrópicas en medios con un cierto interés para la conservación. Son muy útiles, en particular, para evaluar el posible impacto de prácticas agrícolas (por ejemplo, los regímenes de pastoreo, la utilización de pesticidas o fertilizantes, el efecto de la mejora o la resiembra en pastos naturales, etc.). En Europa occidental una gran proporción de la superficie está de una u otra forma sometida a prácticas agrícolas o forestales. La diversidad biológica y el valor conservacionista de estas zonas es muchas veces superior al que a primera vista pudiera parecer (Foster *et al.*, en prensa), y los carábidos son una herramienta que ha demostrado ser muy útil en la evaluación del impacto que estas prácticas agrícolas tienen sobre la diversidad de su fauna y el estado de conservación del sistema en general.

Los coleópteros acuáticos son un grupo heterogéneo de familias cuyo único denominador común es que de alguna forma y en alguna de sus fases están vinculadas al agua (aunque ver Ribera & Aguilera, 1995 para una reflexión sobre la problemática de la 'acuaticidad' de algunos de los llamados coleópteros acuáticos). Existe una ya extensa bibliografía sobre el tema (ver Ribera & Foster, 1992; y Foster, 1996 para dos revisiones recientes), que sería demasiado prolijo detallar, aunque sí creemos interesante destacar algunos aspectos principales. Con los criterios habituales de calificación de la idoneidad de diversos grupos como indicadores, los coleópteros acuáticos sin duda merecen una nota alta: son lo suficientemente diversos, pero sin apabullar; tienen una taxonomía y una nomenclatura bastante bien establecida; hay muchos grupos predadores, bien las formas adultas, los estados larvarios, o ambos; tienen cierto atractivo en sí mismos (o por lo menos a nosotros nos lo parece), lo que hace que haya mucha información publicada sobre ellos; son abundantes, fáciles de muestrear, y no demasiado estacionales; hay especies muy asociadas a diversas condiciones del medio (por ejemplo, aguas limpias, sitios relictos sin alterar, ausencia o presencia de peces, etc.); y están presentes en prácticamente todas las masas de agua con excepción del mar abierto. En el área Mediterránea hay muchas especies con distribuciones restringidas, con una muy limitada capacidad de dispersión, buenas indicadoras del estado de conservación del medio. Sus restos aparecen además con mucha frecuencia en depósitos fósiles, ya que las condiciones usuales que permiten la conservación de restos de insectos (saturación en agua, anoxia) se dan frecuentemente en los fondos de lagos o charcas con acumulación de detrito: lugares idóneos para los coleópteros acuáticos. Estos restos fósiles, además de indicadores de condiciones paleoambientales, son muchas veces indicadores biogeográficos de relaciones entre faunas (ver Angus & Ribera, 1996 para algunos ejemplos). [Y además los dos autores de este artículo trabajamos habitualmente con escarabajos acuáticos, y somos sus más devotos y leales admiradores.]

Mariposas

Las mariposas son otro de los grupos estrella, con un gran atractivo en sí mismas, y del que existe una abundante información de todos los aspectos de su biología y su distribución (incluso de zonas de las que se desconoce prácticamente todo sobre otros grupos de insectos). Son por tanto uno de los grupos más utilizados como indicadores de diversidad, como hemos visto anteriormente. A los trabajos mencionados, cabe añadir el uso que Brown (1991) hace de algunas familias de mariposas para detectar zonas con un elevado grado de endemismo en selvas ecuatoriales neotropicales. Aparentemente, con un examen relativamente sencillo de la fauna de algunos grupos de mariposas muy vistosas, de gran tamaño, y fáciles de localizar e identificar (principalmente subfamilias como Morphinae, Satyrinae, Heliconiinae, o Ithomiinae), es posible hacerse una idea bastante acertada de la diversidad y el grado de endemismo de la fauna de insectos, otros animales, e incluso plantas (Brown, 1991: 381).

Aunque con una visión algo más moderada, las conclusiones de Erhardt & Thomas (1991) son también optimistas: las mariposas son buenas indicadores de los cambios generales que se producen en praderas y pastos seminaturales en Europa, resumiendo (e indicando) de forma eficaz información difícil de caracterizar de otro modo (como estado de conservación, grado de alteración, diversidad general, etc.).

Otros grupos

Existen multitud de trabajos en los que se utiliza el término 'indicador', generalmente de diversidad o de interés para la conservación, aplicados a diversos grupos de artrópodos. En su mayoría lo que se pretende caracterizar es la misma taxocenosis del grupo pretendidamente utilizado como indicador, con lo que nos situaríamos fuera del ámbito de uso de indicadores tal y como lo hemos entendido en este trabajo. Si caracterizamos la rareza, la diversidad, o el grado de vulnerabilidad de un grupo basándonos en datos del mismo grupo, estamos estudiando directamente lo que queremos saber, y por lo tanto no estamos utilizando indicadores. Otra cosa es qué variables utilizamos para caracterizar la rareza, la diversidad o el grado de vulnerabilidad, pero a nuestro juicio, como ya se ha señalado, esto no constituye un uso de indicadores. Si el número de ejemplares de una especie se considera un 'indicador' de su abundancia, el significado de 'indicador' se hace tan amplio que pierde buena parte de su sentido y de su utilidad.

Todo esto está muy bien, pero ¿de verdad sirve para algo?

A modo de conclusión cabe hacerse una pregunta: ¿qué uso real se hace de los artrópodos como indicadores? Es decir, si eliminamos de la bibliografía los trabajos en los que se estudia su posible función como indicadores, y dejamos sólo aquellos en los que se los utiliza directa y realmente, ¿qué queda? Nos tememos que poca cosa, y en su mayoría referente a -como no- países del Norte de Europa. Un ámbito en el que sí se utilizan activa y frecuentemente es en paleoecología y entomología forense (entendida en sentido amplio), pero otros usos (artrópodos como 'cajas negras', o como indicadores de diversidad) están mucho menos extendidos, con la salvedad quizá del Reino Unido y algunos otros casos puntuales, en los que se emplean activa y regularmente para

determinar el estado de conservación de ambientes a un nivel muy local (ayuntamientos o concejos comarcales, ver Eyre [1996] para un buen número de ejemplos concretos).

En ámbitos más próximos al nuestro, quien desee hacerse una idea de la importancia que en nuestro país se da

a la conservación de los artrópodos (no de su uso como indicadores, sino del valor que por sí mismos merecen), remitimos al desalentador panorama que nos presenta el volumen editado por Jiménez-Peydró & Marcos-García (1994).

Bibliografía:

Para el tema de la utilización de indicadores en las estimas de biodiversidad, recomendamos a los que tengan acceso a Internet que consulten la página del Natural History Museum de Londres en la dirección www.nhm.ac.uk/science/projects/worldmap/diversity.

- ANDERSEN, A. N. 1995. Measuring more of biodiversity: genus richness as a surrogate for species richness in Australian ant faunas. *Biol. Conserv.*, **73**: 39-43.
- ANGUS, R. B. & RIBERA, I. 1996. Entomología del Cuaternario. *Bol. SEA*, **16**: 175-182.
- BALMFORD, A., GREEN, M. J. B. & MURRAY, M. G. 1996. Using higher-taxon richness as a surrogate for species richness: I. Regional tests. *Proc. R. Soc. Lond. B*, **263**: 1267-1274.
- BECCALONI, G. W. & GASTON, K. J. 1995. Predicting the species richness of Neotropical forest butterflies: Ithomiinae (Lepidoptera: Nymphalidae) as indicators. *Biol. Conserv.*, **71**: 77-86.
- BILTON, D. T. 1996. Myriapods, Isopods and Molluscs - Useful for environmental assessment? En: EYRE, M. D. ed. *Environmental monitoring, surveillance and conservation using invertebrates*, pp. 18-21, EMS Publications, Newcastle Upon Tyne.
- BLASCO-ZUMETA, J. 1996. ¿Existe vida en la estepa? *Bol. SEA*, **13**: 51-54.
- BROOKS, S. J. 1996. Monitoring and surveying dragonflies (Odonata) for use as indicators of wetland site quality. En: EYRE, M. D. ed. *Environmental monitoring, surveillance and conservation using invertebrates*, pp. 29-32, EMS Publications, Newcastle Upon Tyne.
- BROWN, K. S. JR. 1991. Conservation of neotropical environments: insects as indicators. En: COLLINS, N. M. & THOMAS, J. A. eds. *The conservation of insects and their habitats*, pp. 350-404, Academic Press, London.
- COOPE, G. R. 1979. Late Cenozoic fossil Coleoptera: evolution, biogeography, and ecology. *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, **10**: 247-267.
- CROIZAT, L., NELSON, G. & ROSEN, D. E. E. 1974. Centers of origin and related concepts. *Syst. Zool.*, **23**: 265-287.
- DESENDER, K., DUFRÈNE, M., LOREAU, M., LUFF, M. L. & MAELFAIT, J. P. eds. 1994. *Carabid beetles: ecology and evolution*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- ELIAS, S. A. 1993. *Quaternary insects and their environments*. Smithsonian Institution Press, Washington.
- ERHARDT, A. & THOMAS, J. A. 1991. Lepidoptera as indicators of change in the semi-natural grasslands of lowland and upland Europe. En: COLLINS, N. M. & THOMAS, J. A. eds. *The conservation of insects and their habitats*, pp. 213-236. Academic Press, London.
- EYRE, M. D. ed. 1996. *Environmental monitoring, surveillance and conservation using invertebrates*. EMS Publications, Newcastle Upon Tyne.
- EYRE, M. D. & RUSHTON, S. P. 1989. Quantification of conservation criteria using invertebrates. *J. Appl. Ecol.*, **26**: 159-171.
- EYRE, M. D. & WOODWARD, I. 1996. Spiders in environmental surveillance and site assessment. En: EYRE, M. D. ed. *Environmental monitoring, surveillance and conservation using invertebrates*, pp. 26-28, EMS Publications, Newcastle Upon Tyne.
- FOSTER, G. N. 1987. The use of Coleoptera records in assessing the conservation value of wetlands. En: LUFF, M. ed. *The use of invertebrates in site assessment for conservation*, pp. 8-18, Agricultural Environment Research Group, University of Newcastle, Newcastle Upon Tyne.
- FOSTER, G. N. 1996. Beetles as indicators of wetland conservation quality. En: EYRE, M. D. ed. *Environmental monitoring, surveillance and conservation using invertebrates*, pp. 33-35, EMS Publications, Newcastle Upon Tyne.
- FOSTER, G. N., MCCRAKEN, D. I., BLAKE, S. & RIBERA, I. en prensa. Species biodiversity and conservation value in agriculture: ground beetles as a case study. En: FLEMING, V. ed., *Biodiversity in Scotland: status, trends and initiatives*, The Stationery Office, London.
- GASTON, K. J. & BLACKBURN, T. M. 1995. Mapping biodiversity using surrogates for species richness: macro-scales and New World birds. *Proc. R. Soc. Lond. B*, **262**: 335-341.
- GASTON, K. J. & DAVID, R. 1994. Hotspots across Europe. *Biodiv. Letters*, **2**: 108-116.
- GASTON, K. J. & WILLIAMS, P. H. 1993. Mapping the world's species - the higher taxon approach. *Biodiv. Letters*, **1**: 2-8.
- GASTON, K. J., WILLIAMS, P. H., EGGLETON, P. & HUMPHRIES, C. J. 1995. Large scale patterns of biodiversity: spatial variation in family richness. *Proc. R. Soc. Lond. B*, **260**: 149-154.
- GOLDSTEIN, P. Z. 1997. How many things are there? A reply to Oliver and Beattie, Beattie and Oliver, Oliver and Beattie, and Oliver and Beattie. *Conserv. Biol.*, **11**: 571-574.
- GONZÁLEZ, C. 1997. Los insectos y la muerte. *Bol. SEA (Los Artrópodos y el Hombre)*, n° **20**: 285-290.
- HAMMOND, P. D. 1994. Practical approaches to the estimation of the extent of biodiversity in speciose groups. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B*, **345**: 119-136.
- HAROLD, A. S. & MOOR, R. D. 1994. Areas of endemism: definition and recognition criteria. *Syst. Biol.*, **43**: 261-266.
- HUMPHRIES, C. J., WILLIAMS, P. H. & VANE-WRIGHT, R. I. 1995. Measuring biodiversity value for conservation. *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, **26**: 93-111.
- JIMÉNEZ-PEYDRÓ, R. & MARCOS-GARCÍA, M. A. eds. 1994. *Environmental management and arthropod conservation*. Asociación Española de Entomología, Valencia.
- KERR, J. T. 1997. Species richness, endemism, and the choice of areas for conservation. *Conserv. Biol.*, **11**: 1094-1100.
- LÓVEL, G. L. & SUNDERLAND, K. D. 1996. Ecology and behavior of ground beetles (Coleoptera: Carabidae). *Ann. Rev. Entom.*, **41**: 231-56.
- LOTT, D. 1996. Insects of mature trees and ancient woodland. En: EYRE, M. D. ed. *Environmental monitoring, surveillance and conservation using invertebrates*, pp. 53-59, EMS Publications, Newcastle Upon Tyne.
- LUFF, M. L. 1996. Use of Carabids as environmental indicators in grasslands and cereals. *Ann. Zool. Fennici*, **33**: 185-195.
- LUFF, M. L. & RUSHTON, S. P. 1989. The ground beetle and spider fauna of managed and unimproved upland pasture. *Agriculture Ecosystems and Environment*, **25**: 195-205.

- MARTÍN-PIERA, F. 1997.-Apuntes sobre Biodiversidad y Conservación de Insectos: Dilemas, Ficciones y ¿Soluciones?. *Bol.SEA (Los Artrópodos y el Hombre)*, n° 20: 25-55.
- MAELFAIT, J. P., DESENDER, K. & BAERT, L. 1989. Some examples of the practical use of spiders and carabid beetles as ecological indicators. En: *Proceedings of the Symposium 'Invertebrates of Belgium'*, Bruselas 1988, pp. 437-442, Bruselas.
- MAY, R. M. 1994. Biological diversity: differences between land and sea. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B*, 343: 105-111.
- MELIC, A. & RIBERA, I. 1996. La cronodiversidad biológica. *Bol. SEA*, 16: 189-206.
- MORET, P. 1996. Arqueo-entomología: cuando los insectos fósiles contribuyen al conocimiento de nuestro pasado. *Bol. SEA*, 16: 5-24.
- MORRONE, J. J. 1994. On the identification of areas of endemism. *Syst. Biol.*, 43: 438-441.
- NEE, S. & MAY, R. M. 1997. Extinction and the loss of evolutionary history. *Science*, 278: 692-694.
- NIEMELÄ, J. ed. 1996. Population biology and conservation of carabid beetles. 3rd International Symposium of Carabidology. *Ann. Zool. Fennici*, 33: 1-241.
- NOSS, R. F. 1990. Indicators for monitoring biodiversity: a hierarchical approach. *Conserv. Biol.*, 4: 355-364.
- PEARSON, D. L. 1994. Selecting indicator taxa for the quantitative assessment of biodiversity. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B*, 345: 75-79.
- PRANCE, G. T. 1994. A comparison of the efficacy of higher taxa and species numbers in the assessment of biodiversity in the neotropics. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B*, 345: 89-99.
- PRENDERGAST, J. R. & EVERS HAM, B. C. 1997. Species richness covariance in higher taxa: empirical tests of the biodiversity indicator concept. *Ecography*, 20: 210-216.
- PRENDERGAST, J. R., QUINN, R. M., LAWTON, J. H., EVERS HAM, B. C. & GIBBONS, D. W. 1993. Rare species, the coincidence of diversity hotspots and conservation strategies. *Nature*, 365: 335-337.
- PUJANTE, A. 1997. Los artrópodos como bioindicadores de la calidad de las aguas. *Bol. SEA (Los Artrópodos y el Hombre)*, n° 20: 277-284.
- REAL ACADEMIA DE LA LENGUA 1992. *Diccionario de la lengua española*, 21 ed. Espasa Calpe, Madrid.
- RIBERA, I. & AGUILERA, P. 1995. Métodos de recolección y estudio de coleópteros acuáticos. *Bol. SEA*, 12: 43-48.
- RIBERA, I. & FOSTER, G. N. 1992. Uso de Coleópteros acuáticos como indicadores biológicos. *Elytron*, 6: 61-75.
- ROY, K., JABLONSKI, D. & VALENTINE, J. W. 1996. Higher taxa in biodiversity studies: patterns from eastern Pacific molluscs. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B*, 351: 1605-1613.
- WAGENSBERG, J., BRANDAO, C. R. F. & BARONI URBANO, C. 1997. La pieza 'Jorge Caridad' (continuación y fin). *Mundo Científico*, 181: 620-624.
- WILLIAMS, P. H. & GASTÓN, K. J. 1994. Measuring more of biodiversity: can higher-taxon richness predict wholesale species richness? *Biol. Conserv.*, 67: 211-217.
- WILLIAMS, P. H., GIBBONS, D., MARGULES, C., REBELO, A., HUMPHRIES, C. J. & PRESSEY, R. 1996. A comparison of richness hotspots, rarity hotspots, and complementary areas for conserving diversity of British birds. *Conserv. Biol.*, 10: 155-174.
- WILLIAMS, P. H., HUMPHRIES, C. J. & GASTON, K. J. 1994. Centres of seed-plant diversity: the family way. *Proc. R. Soc. Lond. B*, 256: 67-70.

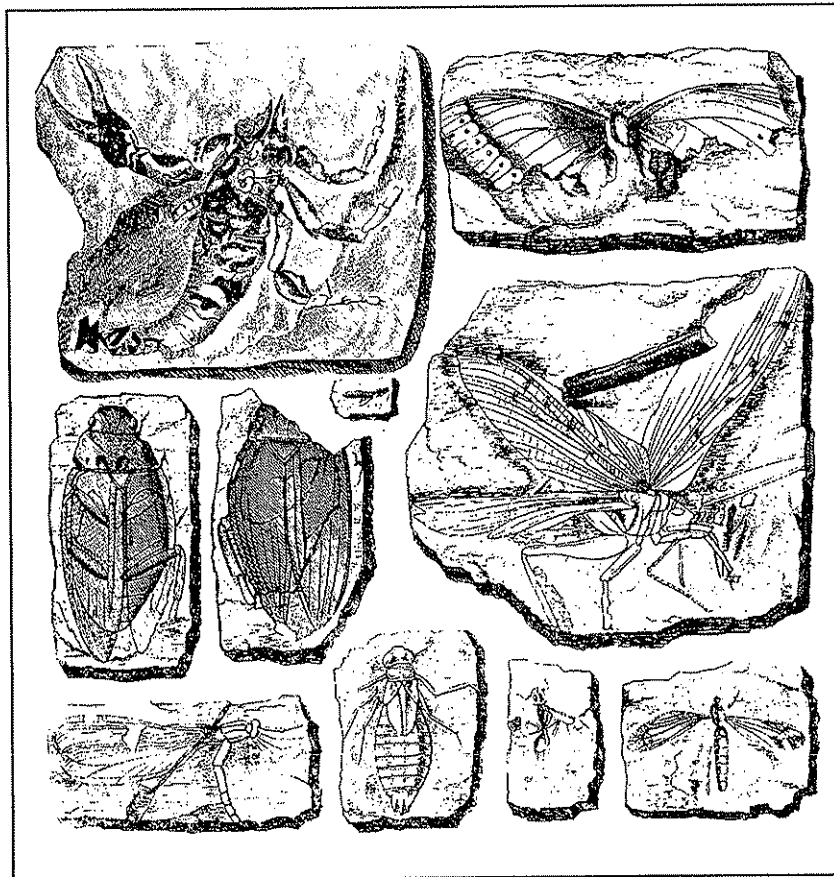


Tabla 1

Una clasificación de la idoneidad de algunos grupos de artrópodos como indicadores en estudios biogeográficos y ecológicos (tomado de BROWN, 1991, y referente en particular a la zona Neotropical).

Cantidad deseable para que un organismo sea considerado indicador	Collembola	Odonata	Isoptera	Hemiptera ¹	Homoptera	Coleoptera ²	Diptera ³	Hymenoptera				Lepidoptera				
Alta diversificación taxonómica y ecológica	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
Especificidad ecológica de las especies	++	++	++	++	++	++	+	++	++	++	+	+	++	+	++	++
Relativo sedentarismo	++	++	++	+	+	++	+	++	++	+	+	+	+	+	++	++
Especies endémicas de distribuciones bien definidas	+	+	+	+	+	++	+	++	++	+	+	+	+	+	++	++
Taxonomía conocida, identificación sencilla	+	++	++	+	+	++	++	++	++	++	++	++	++	+	++	++
Biología en general bien estudiada	+	+	++	+	+	++	+	++	++	++	++	++	++	+	++	++
Abundante, fáciles de encontrar en el campo	+	++	+	+	+	+	++	+	+	+	+	++	++	+	++	++
Oscilaciones de abundancia moderadas	++	+	++	+	-	-	+	+	+	+	-	-	-	+	+	+
Muestras aleatorias grandes fáciles de obtener	+	+	+	-	-	+	+	++	+	+	-	+	-	+	++	++
Funcionalmente importantes en los ecosistemas	++	+	++	+	+	++	+	++	++	++	+	+	+	+	+	+
Respuesta a las perturbaciones predecible, rápida, sensitiva, analizable y lineal	++	++	++	+	+	+	++	+	+	+	+	++	++	+	+	+
Asociado estrechamente a la presencia de otras especies y otros recursos	++	+	+	++	++	++	+	++	++	++	+	+	++	++	+	++
Valor total como indicador (sobre 24)	19	18	20	14	13	19	16	21	18	13	15	16	16	14	21	21

1. Coreidae, Pentatomidae, Cygaeidae, Tingidae, Myridae.
2. Membracidae, Cercopidae.

3. Carabidae, Cicindelidae, Elateridae, Cerambycidae, Chrysomelidae, Curculionidae.
4. Asilidae, Tabanidae.