

## PAPERCLIPMETRIA: ¿UN EXPERIMENTO ANALOGICO EN LA DIDACTICA DE LA EVOLUCION Y BIODIVERSIDAD?

*Paperclipmetric: An Evolution and Biodiversity analogue model?*

Carlos Martín (\*)

### RESUMEN

Se hace un estudio sobre una muestra de especímenes de artefactos industriales (los paperclips) con variedad tipológica y expansión universal. Se pretende con ello establecer analogías entre la jerarquización resultante del análisis de algunas de sus características (tanto dimensionales como categóricas o nominativas) con procesos complejos de índole natural como puede ser la Evolución.

La muestra de paperclips estudiada está compuesta de 156 especímenes, sobre cada uno de ellos se han registrado once variables, 7 cuantitativas y 4 cualitativas (forma, material, tipo de sección, color). El árbol estructural con más clipdiversidad hace uso fundamentalmente de variables cualitativas como factores discriminantes efectivos, aunque también en algún caso maneja cuantitativos. Se obtiene así el clip-parquetipo, que se define compuesto por tipo gem-metálico-plateado. Y además se pone de manifiesto la eficacia, o ineficacia, de algunas de las variables en el éxito de una más amplia clipdiversidad; como el papel que parecen desempeñar algunas características cualitativas (sección semicircular y elíptica).

Se detecta un proceso evolutivo desde la forma primitiva gem dominante hasta ahora en despacho y oficinas, hacia la heráldica que se apoya en materiales plásticos para conseguir por medio del color adoptar funciones decorativas hasta ahora no desarrolladas por los gem. Además se observa que la forma heráldica también desarrolla funciones de adorno, de puntos de libro y otras nuevas, por lo que además de cambiar su forma tiende a ocupar nuevos nichos ecológicos, como son las aulas y los hogares.

En definitiva puede decirse que estos elementos industriales fabricados por el hombre pueden ser usados como conjuntos analógicos que ayudan a 'recrear' los complejos y pocos conocidos procesos seguidos por los naturales, tales como la Evolución, sirviendo al menos de reflexión tanto para investigadores como profesores y alumnos.

### ABSTRACT

A sample of industrial appliances (paperclips) with a universal distribution and a wide variety of typologies is studied, in order to establish certain analogies between the analysis of their characteristics (both in terms of dimension and category or nominative) and some complex natural processes, such as Evolution.

Eleven variables, seven of them quantitative and the other four qualitative (shape, material, section, colour) are taken on 156 paperclips. The structural tree obtained shows that the highest clip-diversity makes preferential use of the qualitative variables as discriminately effective, although sometimes some qualitative characters are also taken. The clip-archetype obtained is defined as a silver-metallic-gem. Furthermore, the efficiency or inefficiency of some of the variables studied (such as the semicircular or elliptic section) as to the success of a wider clip-diversity, is shown.

In the course of the evolution process the gem-archetype, prevailing until now in offices and bureaus, takes on the heraldic shape preferably made of coloured plastic materials, taking decorative functions which are not usually developed by the gem. This new capacity, besides changing their shape tends to fill a new ecological niche, such as homes and classrooms.

Consequently, it could be said these manufactured industrial appliances are useful as analogical samples in helping to simulate the complex, little-known natural processes such as Evolution, thereby being of help to researchers, lecturers, teachers and students; at least as a subject for reflection.

**Palabras clave:** Modelos de procesos naturales; factores evolutivos; analogías didácticas cuantitativas.

**Keywords:** natural process models; evolution factors; quantifiable didactic experiments

### INTRODUCCIÓN

La biodiversidad total, la actual más la del pasado geológico, es un conjunto del que no se dispone de todos los especímenes que lo constituyen. Los del pasado se encuentran fosilizados en las capas sedimentarias, y su registro va acompañado previa-

mente del hallazgo, proceso en el que convergen tan gran número de factores o circunstancias que, por su complejidad, se puede decir que queda supe-

ditado al azar. En cuanto a la diversidad del presente, el número de especies que debe existir se estima en  $15 \times 10^6$ , de las cuales sólo son conocidas 5 % (Martín Albadalejo, 2000).

(\*) Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC. José Gutiérrez Abascal, 2. 28006 Madrid. E-mail: escorza@mncn.csic.es

Por tanto, la muestra disponible sobre la que está basada la Evolución, y gran número de apoyos sustanciales en las ciencias geológicas y paleontológicas, tiene un carácter discreto, incompleto y desde luego discontinuo, con lagunas de desigual y, en muchas ocasiones, desconocida importancia. Este tipo de información no es exclusiva de las citadas áreas, es común para muchas, sino todas, partes de la Ciencias de la Tierra en las que no se dispone de la información que se desearía, como, por ejemplo, en Meteorología donde resulta imposible recoger todos los datos puntuales del *continuum* que forman todas las variables involucradas en los procesos atmosféricos. En Geofísica, por citar otra disciplina, ocurre esto mismo para los puntos del interior del planeta. Este 'mal' general que limita el conocimiento de los fenómenos naturales, no impide por supuesto, el que se hayan conseguido elaborar y vertebrar principios, teorías y leyes basadas en la interpretación lógica de los hechos observados, analizándose con criterios contrastados sus analogías y semejanzas.

Y así en Geología y Paleontología se han llegado a establecer órdenes jerárquicos y cronológicos en los procesos ocurridos en la Tierra, marcándose pautas, modelos estructurales y arquetipos. Y todo ello en gran parte se ha realizado sobre la observación de las valoraciones posicionales relativas (de las rocas y de sus fósiles) y sobre una diferenciación categórica y taxonómica en los organismos (sobre todo por la dicotomía de presencia/ ausencia), llegando sin apenas cuantificación, al establecimiento de la Evolución y/o Filogenia. Por todo ello se puede decir que su sustentación es un *corpus* basado en la observación de ciertos rasgos morfológicos o funcionales, esto es, de variables cualitativas y de variables categorizadas, representadas principalmente por las distintas morfologías adoptadas.

En la casi recién estrenada época computacional es obvio que se intenten llevar esos grandes desarrollos hacia una base donde también intervenga la cuantificación. Es decir, que la distinción se realice por medio del cálculo multivariante frente al visual dicotómico o categorizado ahora dominante. Aunque a ciertos niveles de diferenciación algo se haya hecho (ver p.e.: Raup, 1966; Chang et al., 1974; Savazzi, 1985), la situación general actual es que se está muy lejos aun de esa transformación, y aun de saber si ella es posible y realizable.

Pero la investigación básica está repleta de varios empeños, así que no vamos a prescindir de dar pasos hacia esa dirección, sin olvidar que cualquiera de ellos no será sino un experimento cuya analogía con las teorías con las que se pretende comparar es de por sí discutible.

En este artículo se ofrece un sencillo, y seguramente incierto, sistema de analogía sobre el que experimentar una aproximación hacia una vertebración de una secuencia evolutiva utilizando para ello objetos fabricados por el hombre sobre los que se han definido variables cuantitativas y cualitativas registradas sobre una colección fácil de adquirir que tiene además representación universal: se trata de los lla-

mados paperclips, especímenes que afloran en la superficie de la Tierra a partir de los años finales del Siglo XX. El 7 de noviembre de 1899 William Middlebrook patenta en Connecticut (USA) una máquina para hacer paperclips de metal (Petroski, 1996), en la que se observa como se llega a obtener a partir de un hilo de alambre de unas cuatro pulgadas un clip eficaz y económico. Este fue fabricado en Inglaterra por la firma Gem Ltd. Y desde entonces es conocido en su forma más clásica como *gem clip* (*op. cit.*). Su función no es otra que la sujeción de algunos papeles aprovechando la elasticidad que presenta entre su parte externa e interna.

La existencia de antecesores primitivos en esta función es reconocida en épocas anteriores. Se utilizaban para ello objetos punzantes que agujereando los papeles permitían que estos permaneciesen unidos. Muy probablemente hay después una transición gradual entre éstos, que dañaban el papel, hacia las formas que sólo presionaban aprovechando la elasticidad de láminas de madera o metálicas. Pero no fue hasta el final del Siglo XIX cuando hay propuestas en patentes de diseños concretos para cumplir las funciones a través de alambres metálicos realizados de manera industrial. Acerca de quien fue el primer en presentar esa patente hay polémica, pues además de la citada, en 1899 el noruego Johan Valer presenta sin poderlo aperturar un diseño de paperclips, y en 1900 Cornelius J. Brosnan patenta en USA diseños de papeclips (ver: "<http://www.disyouknow.com>"; y "<http://inventors/about.com/science/inventors/library/inventors/bl-papaersclip.htm>"). El nombre dado por Brosnan fue el de *konaclip*, aunque el más popular por el que se les conoce a estos 'seres' ya casi desde entonces, es el *paperclip*, siendo ambas sinonimias. El último refleja por sí mismo su carácter funcional además de ser universal, así que lo tomamos como 'etiqueta' de los elementos que aquí se estudian. Los paperclips se caracterizan por su forma en oval doble y fueron fabricados originariamente en metal; en la actualidad también se fabrican con plástico. También han sido denominados como chalybiflectos (Gómez y Hacar, 1996), pero por supuesto es también sinonimia.

Durante décadas los paperclips ocuparon fundamentalmente el medio ecológico de las oficinas, pero últimamente, debido quizá al atractivo carácter cromático y variedad formal que han adquirido, se les ve proliferar en las aulas de colegios, universidades y también en los hogares.

## METODOLOGÍA

El trabajo presentado aquí está basado en el análisis de una muestra de 156 diferentes paperclips, recogidos por las donaciones de familiares, amigos y colegas del autor. Ninguno de ellos fue comprado, para así no sesgar el muestreo por la selección del gusto propio.

Para cada elemento de la muestra se han registrado un total de once variables; de ellas, siete son numéricas y cuatro nominales. Las numéricas se to-

maron sobre algunas de las dimensiones que presentan (Figura 1) haciendo uso de un calibrador estandar con pantalla digital que señala una precisión de hasta dos centésimas de milímetro. De las variables que se señalan en dicha figura 1, sólo el grosor se tomó en la dirección perpendicular al plano definido por el conjunto del elemento, las demás fueron medidas en dicho plano.

Las variables nominales se refieren a la definición de alguna cualidad presente en los elementos, bien sea geométricos, soporte material o cromatismo. Estas variables nominales o cualitativas han sido:

La *forma*, para la que se han diferenciado los siguientes tipos (Figura 2): *gem*, así denominado ya internacionalmente en la literatura y que corresponde a la forma más clásica (fig. 2.1) con que estos elementos se reconocen en todo el mundo; el *gem antideslizante*, como el anterior, pero con pequeñas incisiones transversales a lo largo de sus largos miembros centrales, fue introducido por C. Collecte en 1921 (Petroski, 1994); el cuasi triangular o *pequeño gem*, ya conocido desde 1933 (Autodesk, 2000); la forma con su extremo apical recto y el inferior triangular, ya conocido desde 1934 como forma *gótica*, denominada así por Lan-kenau (Petroski, 1994) por su parecido a los arcos ojivales de dicha tipo arquitectónico (para ello girar 180° la fig. 2.2); el que tiene su forma en *aspa* (fig. 2.3); el denominado *fay* (fig. 2.4), y ya conocido en 1933 (Autodesk, 2000); el *rectangular*; *circular*; el de forma *heráldica* (figs. 2.5 y 2.6) que engloba a varios tipos cuya forma es similar o recuerda a la de algunos escudos heráldicos; y el *doble arco* (fig. 2.7). Se conocen más formas de las cuales el autor no tiene ejemplar.

*Rasgos cromáticos*, es decir el color, en los que se han diferenciado los siguientes tipos: plateado; dorado; cobrizo; color1\_2, que recoge a los grupos con ejemplares iguales de los que se tienen

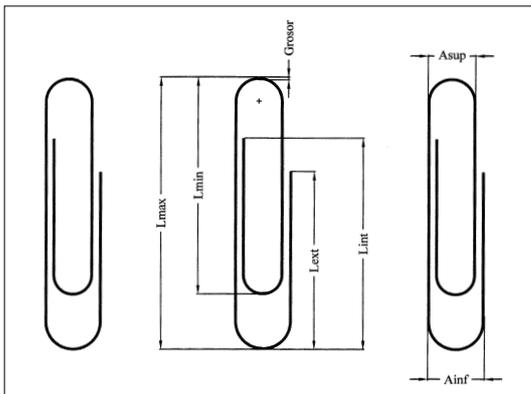


Fig. 1.- Sobre la forma más conocida de paperclip, la denominada *gem clip*, se indican las dimensiones longitudinales, transversales y de grosor, registradas en cada uno de los especímenes de la muestra de 156 elementos sobre los que se ha basado este estudio.

ejemplares en uno o dos colores; color3\_, igual que el anterior pero con más de dos especímenes, cada uno de ellos con diferente color; anillados, en los que hay bandas coloreadas transversales.

El *material de soporte*: metálico; plástico; metálico recubierto de plástico; y metálico sometido a ionización cromática.

La *geometría de la sección*, distinguiéndose las de forma: circular; semicircular; elíptica; y plana.

La matriz de datos generada con 156 filas y once columnas fue sometida a los cálculos computacionales de los programas estadísticos SPSS (v. 10) y Answer Tree (v. 2), ambos de SPSS Inc. (1999).

## RESULTADOS

Las relaciones entre las variables cuantitativas seleccionadas no son complejas. Como se puede ver por medio de un descriptor gráfico no dimensional (Figura 3), los valores longitudinales entre sí y los transversales entre sí, tienen una distribución ajustada a una recta que prácticamente es la diagonal del plot en todas ellas, excepto para la variable Lmax. Sin embargo, las relaciones entre las dimensiones longitudinales y las transversales, y cada una de las con el grosor, presentan un agrupamiento, siempre cercano al origen al que acompaña una dispersión hacia los valores más altos.

En cualquier caso, en la relación entre pares de variables cuantitativas no se observa una relación que no sea o sugiera un carácter lineal. Lo cual aleja éste análisis de un estudio biométrico, donde puede esperarse una distribución de longitudes con carácter alométrico, o bien lo tienen pero bajo la consideración de que el coeficiente exponencial es

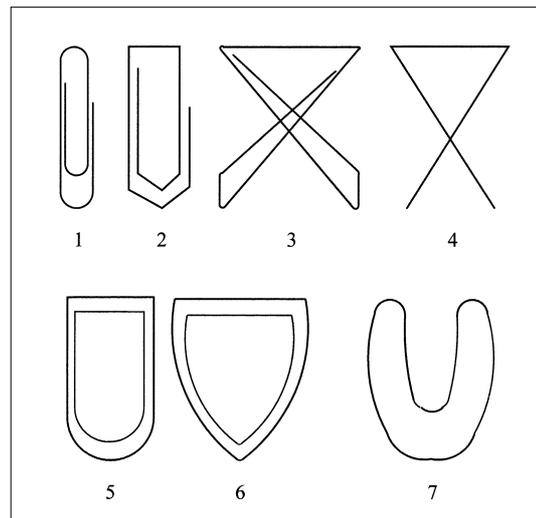


Fig. 2.- Algunos de los tipos de paperclips que están considerados en este trabajo. 1. Es el *gem clip*, el clásico de estos elementos; 2. el *gótico*; 3.- en *aspa*; 4.- el *fay*; 5 y 6.- formas que aquí están consideradas como de tipo heráldico; 7.- en *doble arco*.

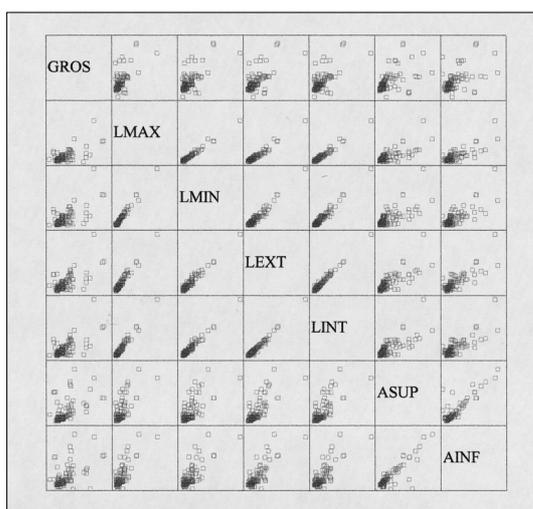


Fig. 3.- Relación plot entre las siete variables cuantitativas registradas sobre los 156 paperclips que componen la muestra de este análisis.

precisamente igual a 1. Este resultado no hace sino encajar la muestra en su lugar, pues obviamente no tiene un origen natural.

Haciendo uso del software Answer Tree (SPSS, 1999) se puede conseguir una representación de todos los elementos, obteniéndose distintas agrupaciones, a partir de manejar una de las variables como criterio diferenciador. Esto permitirá establecer un mapa de relaciones entre los elementos y el resalte entre las variables de aquellas que actúan con mayor poder discriminador. El resultado se presenta en forma de estructura en ‘árbol’ por lo que se llega a establecer, casi simultáneamente, una relación sugerente con algunas de las estructuras evolutivas, aunque por supuesto en este caso la analogía es quizá didácticamente aprovechable pero no debe hacer olvidar lo alejado que está de los casos naturales en que aquella tiene lugar. Sin embargo, es posible obtener de todo ello alguna información, siquiera como argumento de reflexión conceptual.

Para los 156 elementos que componen nuestra muestra de paper clips se han hecho diferentes combinaciones de variables con el objetivo de buscar el par de entre ellas que diera mayor clipdiversidad. Esta se ha conseguido utilizando el método de ‘Chaid exhaustivo’ en donde como variable ponderada de frecuencia se introdujo Lmax, y como variable criterio la variable ‘forma’. La frecuencia doblega a utilizar una variable cuantitativa, pues el sumatorio de todos sus valores es el que se utilizará para establecer las relaciones porcentuales jerárquicas para cada celda de la ‘carta filogenética’; por eso se utiliza como criterio diferenciador una variable cualitativa, aunque también se podría haber manejado una cuantitativa.

La variable que más nodos de diversificación ofrece ante los datos de esta serie de especímenes ha sido la ‘forma’, por lo que ha sido seleccionada para ser mostrada aquí. Además la ‘forma’ es un criterio cualitativo que coincide en su poder dife-

renciador no sólo con los cálculos del citado software, sino también con la discriminación que puede hacerse a través de la observación directa por las personas. Lo cual no viene sino a resaltar la confianza en los análisis por medio de software de este tipo, en los que por su complejidad de cálculo pueden quedar ocultas sus últimas ‘intenciones’.

El resultado de la Figura 4 manifiesta, de manera simplificada y sintética, la salida exhaustiva y mucho más ampliada que da el citado programa. En dicha figura se indica con un sombreado las celdas con mayores índices de frecuencia, que llega para el caso de los elementos con sección circular a ser de un 70%, de un 50% para el material metálico y un 42% para el color con uno o dos tonos o plateado. Esta línea ‘evolutiva’: *circular-metálico-dos colores/plateado*, de mayor frecuencia señalaría el ‘arquetipo’ básico de todos los elementos aquí considerados. Al que corresponde, quizá también como resultaba obvio (y por eso ahora podemos decir que con satisfacción acerca de la bondad del método), a las formas dominantes *gem* y *gótica* preferentemente.

En cuanto a las variables, la figura 4 manifiesta resultados que podrían no resultar tan obvios antes del experimento. Como un primer factor discriminante resalta en las primeras ramas a la izquierda, la variable cualitativa ‘sección’. Los siguientes nodos presentan dos variables como segundo factor discriminador: el tipo de material, que es una variable cualitativa, y la longitud del brazo exterior del clip (Lext), que es cuantitativa. En ambas no se tienen resultados semejantes, ya que la cualitativa ‘material’ produce mayor diversidad que la Lext, que hace disminuir la clipdiversidad en ciertos rangos de espectro dimensional. En la siguiente columna de celdas se encuentran los terceros factores discriminantes, uno de ellos cualitativo, el color, que aparece en doblete, y otros dos cuantitativos, la mencionada longitud externa (Lext) y la anchura inferior (Ainf). El color aporta en ambos casos mayor diversidad que las dos cuantitativas.

El resultado del análisis que se sintetiza en la figura 4 señala que la mayor radiación, es decir la que consigue mayor clipdiversidad, basa sus factores discriminantes más efectivos en variables cualitativas (tipo de sección, material y color). Como se observa, también usa variables cuantitativas, pero ya relegadas al segundo y tercer nivel de segmentación y no en todos los nodos. Sorprendentemente a priori, es a partir de la discriminación por el tipo de sección donde se separan las grandes líneas de estructuración en las que se desarrolla la evolución de los clips aquí muestreados.

El análisis más pormenorizado de la figura 4 señala:

- 1.- Los ejemplares de sección circular incluyen principalmente los materiales metálicos, plateados en su mayoría, aunque los hay también dorados, cobrizos y coloreados por ionización. En cuanto aparecen elementos plásticos envolviendo el metal se desarrollan las especies coloreadas, o multicoloreadas en anillos. Sin embargo,

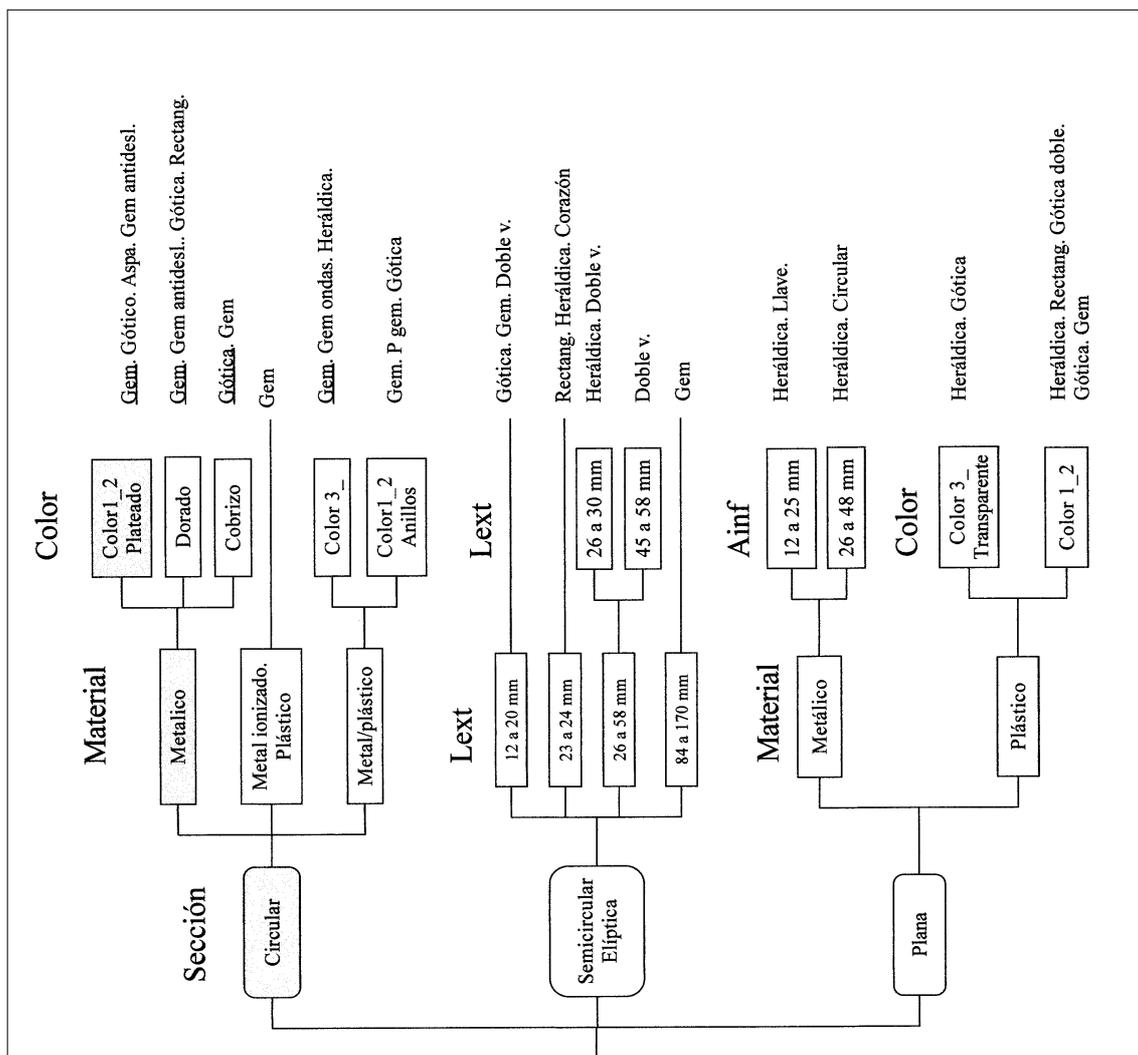


Fig. 4.- Esquema simplificado de la 'salida' generada por el software Answer Tree (SPSS, Inc., 1999), con los criterios que se señalan en el texto. Las celdas sombreadas señalan las características del arquetipo básico que definen el conjunto de los datos de la muestra. Explicación desarrollada en el texto.

a pesar de la variedad cromática, casi todos ellos pertenecen a la forma predominante de *gem*, el clip clásico, aunque también los hay en menor cantidad de sus derivados en *aspa*, *gem antideslizantes*, y con ondulaciones y de forma *gótica*.

- 2-. Los clips con sección semicircular o elíptica forman un subconjunto peculiar, reflejando el hecho de no tener unos rasgos dominantes. Quizá por ello el análisis hace uso de variables cuantitativas para encontrar los mayores factores de discriminación, en este caso la *Lext*. También quizá por la misma razón tienen menor posibilidad de diversificación. Tampoco en la 'forma' hay mayor predominio, y casi en la misma proporción encontramos a todas las anteriormente citadas. Este grupo formaría la transición hacia un nuevo uso de los clips.
- 3-. Los ejemplares con sección plana, en la parte inferior de la figura 4, pueden ser tanto de metal

como de plástico. En los metálicos el cálculo busca como factor de discriminación una variable cuantitativa, la anchura inferior (*Ainf*), que da dos diferenciaciones con escaso número de ejemplares. Para los de plástico utiliza la variable del color como discriminante, y en ellos hay una amplia variedad cromática. En todos ellos la forma dominante es la heráldica, que es la más característica de este grupo.

Además de una estructuración según balances discriminatorios, según porcentajes y valoraciones, el conjunto del resultado que expresa la figura 4 refleja también una secuenciación, una evolución. En efecto, según se ha descrito, los especímenes más antiguos, desde su aparición a principios del Siglo XX, son los que marcan la preponderancia apoyándose fundamentalmente en su forma clásica y en su constitución metálica, desarrollándose con firmeza a lo largo del Siglo XX donde se han mantenido como dominantes hasta la actualidad. Manteniendo sus dimensiones y formas al servicio de su función

principal para la que aparecieron sobre el planeta: sujetar con su fuerza elástica una pequeña cantidad de papeles. La línea del arquetipo básico (sombreado en la figura 4) señala a los elementos fundamentales que de forma más simple y eficaz cumplen con esta función.

Sin embargo, durante las últimas décadas del Siglo XX, y con mucha más persistencia en los últimos años, han aparecido nuevas formas generadas a partir de un cambio que se ha producido en el destino, en la función con que la sociedad, el medio, ha modifica asimismo su uso. La nueva sociedad de consumo reclama una función de adorno, con formas y colores atractivos y variados. Esta tendencia de cambio funcional, junto con la incorporación a su soma de nuevos materiales como el plástico, no tan vigoroso como ni elástico como el metal pero con más posibilidades morfológicas y cromáticas, están haciendo ampliar la clipdiversidad y alterar su ciclo evolutivo.

Es por ello que tras el grupo de transición de la zona media de la fig. 4, aparecen con nitidez, abajo, el conjunto representado por elementos metálicos y de plástico. Los metálicos en este caso con formas destinadas al adorno, señala-libros o pisapapeles, mientras que los de plástico con gran riqueza de color añaden una función decorativa y cromático; todos ellos en general con forma *heráldica*, que parece ser la dominante en este nuevo y actual periodo evolutivo, que tiene una fuerte radiación evolutiva.

Muy probablemente con todo ello los clips hayan conseguido ocupar nuevos nichos ecológicos, pues tras haber dominado los despachos y oficinas, ahora también son frecuentes (plásticos coloreados) en las aulas, colegios, universidades y también en los hogares (señala-libros, pisapapeles, colgados de pared, etc).

## CONCLUSIONES

Se propone aquí la utilización de experimentos de recogida de especímenes y análisis de los mismos que correspondan a artefactos industriales, en los que el desarrollo de una amplia variedad tipológica y buscando aquellos de distribución universal se logra un principio de modelo analógico con procesos complejos de índole natural como puede ser la Evolución. Como ejemplo de elementos a utilizar se ha recogido una muestra de 156 especies de paper clips que ofrecen facilidad de búsqueda, posibilidad de diferenciación a través de sus rasgos a simple vista, y la posibilidad de medir en ellos algunas dimensiones.

Haciendo uso de variables cuantitativas y cualitativas como factores discriminantes se ha obtenido un 'árbol evolutivo' en el que se define el conocido *gem-metalico-plateado* como el arquetipo básico. Además se pone de manifiesto la eficacia, o ineficacia, de algunas de las variables en el éxito de una más amplia clipdiversidad; así como el lugar papel que parecen desempeñar como elementos de transición algunas características cualitativas (sección semicircular y

elíptica), hacia la aparición de nuevas formas como la *heráldica* que se vislumbra como nueva competidora del medio a los *gem* además de ampliar su presencia hacia nuevos nichos (hogares, escuelas, universidades, colegios, etc) quizá debido a sus posibilidades de variedad cromática que le hacen atractivo a los nuevos usuarios de sus funciones: los jóvenes.

Se pone de manifiesto en análisis que la función es un factor que marca la evolución, señalando el camino hacia ella por medio de cambios cualitativo y cuantitativos para alcanzar el fin funcional para los que les ha destinado su propia existencia.

Todo ello viene a sugerir que la utilización de modelos analógicos, aparentemente alejados de los procesos reales de cambios en las formas de vida, pueden ser un buen camino de investigación, y acercamiento hacia más grandes y complejos procesos, y cuanto al menos son vehículo de reflexión sobre ellos.

## AGRADECIMIENTOS

Este análisis fue posible debido a la aportación de especímenes realizada principalmente por: María Amalia García-Aráez López y María Dolores Pesquero. Ana Alemany, y Luis Gállego hicieron una lectura crítica del manuscrito y valiosas sugerencias. Todo ello no habría sucedido sin algunas 'tertulias de café' mantenidas hace unos años con Edgardo Ortiz Jaureguizar.

## BIBLIOGRAFÍA

Autodesk (2000). *The sublime paper clip: a design classic*. <http://www3.autodesk.com/adsk/ctem/0,,325044-123112,00.html>

Chang, Y.; Kaesler, R.L. & Merrill, W.M. (1974). *Simulation of growth of the Foraminifera Ammonia beccarii* by computer. Geological Society of America Bulletin, 85: 745-748.

Gómez, J. & Hacar, F. (1996). *La réplica de experiencias como forma de actuación en la resolución de problemas*. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 4-2: 124-126.

Martín Albadalejo, C. (2000). *Tendencias de la taxonomía entomológica española*. Tesis Doctoral. Universidad Complutense, Madrid. 323 p. + CD Rom.

Petroski, H. (1994). *The evolution of useful things*. Vintage Books. 288 págs.

Petroski, H. (1996). *Invention by design*. Harvard University Press. 242 págs.

Raup, D.M. (1966). *Geometrical analysis of shell coiling: general problems*. Journal of Paleontology, 40: 1178-1190.

Savazzi, E. (1985). *Shellgen: a Basic program for the modelling of molluscan shell ontogeny and morphogenesis*. Computers & Geosciences, 11: 521-530. ■