

# Tratamiento estadístico de datos granulométricos. Aplicación a la formación «Utrillas» del extremo occidental de la cordillera Ibérica y borde del Sistema Central (\*)

Por A. RINCÓN (\*\*), S. ORDÓÑEZ (\*\*\*) y J. A. DE LA PEÑA (\*\*\*)

## RESUMEN

En el presente trabajo se estudia la distribución de frecuencias para las fracciones clasificatorias de los sedimentos de la facies "Utrillas" (ciclo superior del Cretácico), calculándose los parámetros estadísticos para 67 muestras de sedimentos. Un análisis factorial sobre los parámetros calculados y otro sobre los pesos retenidos en los tamices completa el estudio estadístico.

## RÉSUMÉ

Dans le présent travail on étudie la distribution des fréquences pour les fractions granulométriques des sédiments des facies Utrillas, en calculant les paramètres statistiques pour 67 échantillons. La procédure statistique est complétée par une analyse factorielle sur les paramètres calculés et une autre sur les poids retenus dans les divers tamis.

## ABSTRACT

We study in this paper the distribution of frequencies in the grain-size fractions of "Facies Utrillas" sediments, having obtained statistical parameters in 67 samples of these sediments. The calculated parameters and the weights obtained by sieving were processed by factorial analysis, thus completing the statistical study.

## INTRODUCCIÓN

El objeto del presente trabajo es la aplicación a sedimentos detríticos de una metodología consistente en: a) el cálculo de los parámetros más usuales en sedimentología, realizando a continuación un análisis factorial donde se toman como variables dichos parámetros, y b) la realización de otro análisis factorial, tomando como variables los pesos retenidos en los tamices, siguiendo la metodología KLOVAN (1966).

La finalidad perseguida es dar criterios sobre la utilización de los datos de análisis granulométricos para la separación de facies detríticas con diferente sedimentogénesis.

La metodología expuesta ha sido aplicada a los sedimentos de las facies Utrillas (ciclo superior del Cretácico) en las áreas correspondientes al extremo occidental de la cordillera Ibérica y borde del Sistema Central.

Se han levantado 13 columnas (fig. 1), procurando que fueran las más características y completas, cuidando, sobre

todo, la perfecta definición del techo y muro de las mismas. En dichas columnas se efectuó un muestreo a intervalos fijos para cada una, en función de sus potencias, con intercalación de muestras correspondientes a niveles significativos.

El tratamiento analítico previo de las muestras consistió en un tamizado, utilizando como intervalos los de la escala phi. Conscientes de que esta escala no es, quizá, la más adecuada para poner de manifiesto los diversos factores que influyen en el proceso de sedimentación, la hemos utilizado, sin embargo, por su sencillez.

## METODOLOGÍA ESTADÍSTICA

El punto de partida ha sido el cálculo de los parámetros muestrales, distinguiendo:

(\*) Trabajo presentado al VII Congreso del Grupo Español de Sedimentología. Bellaterra-Tremp, 1974.

(\*\*) Departamento de Geomatemática, ENADIMSA, Madrid.

(\*\*\*) Departamento de Petrología. Universidad Complutense. Madrid.

Parámetros comunes en sedimentología

— Mediana ... ..	$Q_{50}$
— Selección de TRASK ... ..	$S_0 = \sqrt{Q_{25}/Q_{75}}$
— Asimetría de KRUMBEIN ... ..	$A_k = (Q_{75} - Q_{25}) / Q_{50}$
— Curtosis ... ..	$(Q_{75} - Q_{25}) / (P_{90} - P_{10})$
— Distancia ... ..	$(Q_{25} - Q_{50})$
— Distancia ... ..	$(Q_{75} - Q_{50})$
— Mediana $\phi$ ... ..	$\phi_{50}$
— $m \phi$ ... ..	$(\phi_{84} + \phi_{16}) / 2$
— $\sigma \phi$ ... ..	$(\phi_{84} - \phi_{16}) / 2$
— $\alpha \phi$ ... .. =	$\frac{m \phi - Md \phi}{\sigma \phi}$

Parámetros estadísticos

Para su cálculo se ha considerado el polígono de frecuencias de los pesos (%) retenidos en los intervalos definidos por los tamices utilizados, aplicando las fórmulas usuales en estadística: media, desviación *standard*, coeficiente de sesgo y curtosis.

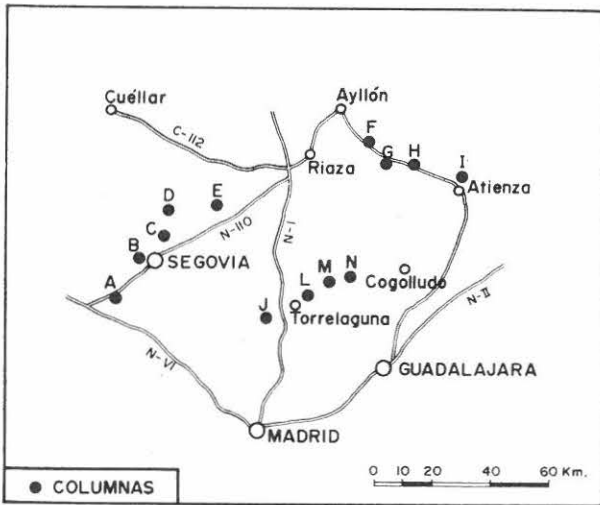


Fig. 1.—Esquema de situación de las columnas estudiadas.

Estos parámetros pueden ser confrontados con los antes denominados comunes, pero, sin embargo, su cálculo presenta una mayor dificultad, que puede ser considerable en ocasiones, dado que las curvas granulométricas son "abiertas", es decir, las fracciones muy finas, no retenidas en los tamices, motivan la falta de un número desconocido de intervalos.

La acumulación de frecuencias sobre finos paliaría relativamente el problema, si aceptamos como marca de intervalo el límite superior y no el punto central, como es más correcto. La solución adoptada por nosotros estriba en suponer, siempre que la fracción que rebasa el último tamiz no sea excesivamente importante, dos intervalos ficticios más, y repartir en ellos esa diferencia de acuerdo con una relación a fijar por nosotros (2:1, 3:1, 1:2, ...), según el aspecto general de la distribución de frecuencias.

Somos conscientes de que es una solución un tanto forzada, aunque elástica, y sólo pretendemos un primer tanteo; un estudio comparativo más exhaustivo está en curso.

REPRESENTACIÓN GRÁFICA

Hemos recurrido a representar gráficamente las frecuencias acumuladas en escalas logarítmico-gaussianas, con el fin de observar su aspecto, conocer el grado de "lognormalidad" de las curvas de distribución y visualizar las características de las mismas.

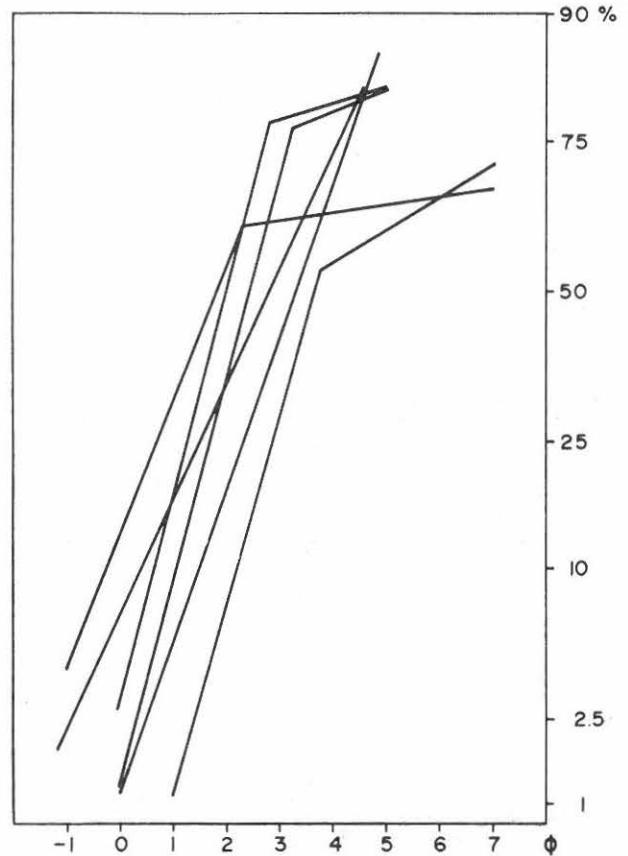


Fig. 2.—Representación de algunas curvas acumuladas características, en escala probabilística. En abscisas: unidades phi; en ordenadas: porcentaje acumulado.

Un gran número de muestras presentan una gráfica con una linealidad absoluta, y no cabe duda sobre su lognormalidad (fig. 2). Aunque no es objeto de este trabajo entrar en la discusión de este tema, creemos necesario señalar que existen diversos modelos que prueban la tendencia a la lognormalidad en los sedimentos (MIDDLETON, 1970) o, por lo menos, a dar mezclas de distribuciones lognormales (SPENCER, 1963; VISHNER, 1969 y FULLER, 1961). En estas gráficas, lo más correcto hubiera sido ajustar una recta de HENRY o, por el procedimiento de máxima verosimilitud (*probits*), calcular los parámetros estadísticos de la distribución. En algunos casos lo hemos hecho, encontrando que la diferencia con los calculados por el método de INMAN era mínima.

Otras muestras se apartan de la lognormalidad claramente. A partir de un cierto intervalo (tamiz), y de un modo más o menos brusco, las gráficas se inflexionan, disminuyendo los porcentajes acumulados sobre lo que era de esperar en el caso de lognormalidad. Estamos ante un caso de curvas lognormales truncadas más o menos claramente (fig. 2) y no serán aquí válidos los valores calculados para los diversos parámetros en cuanto a inferir características

del sedimento. La presencia de una parte de la curva con claro aspecto lognormal lleva a pensar en una lognormalidad subyacente, generada por el proceso sedimentario, que ha sido alterada por alguna causa.

No hemos encontrado gráficas que muestren una posible superposición de dos o más poblaciones estadísticas dentro del sedimento. Esta posibilidad la hemos investigado teniendo en cuenta las ideas expuestas por AZCÁRATE (1970) en su estudio de mezclas de poblaciones estadísticas con distribución normal o lognormal. No queremos decir con ello que todas las distribuciones lognormales observadas sean las mismas; de hecho, difieren en los valores de sus parámetros estadísticos.

ANÁLISIS FACTORIAL

Una última parte del tratamiento estadístico de estas muestras ha consistido en la realización de dos análisis factoriales. En un caso hemos tomado como variables los pesos retenidos en cada tamiz, y, en el otro, los valores de los parámetros estadísticos calculados a partir de las frecuencias acumuladas (comunes en sedimentología). Los resultados obtenidos con uno y otro análisis se apoyan y aclaran mutuamente.

El tipo de análisis factorial elegido ha sido el conocido como de modo R (autovectores de la matriz de coeficientes de correlación) con rotación varimax de KAISER, y el número de factores seleccionados ha sido de tres en ambos casos, porque únicamente tres de estos factores explicaban una cantidad de varianza mayor que cualquiera de las variables introducidas al análisis.

Los resultados se han representado gráficamente mediante un diagrama de dispersión en el plano de los dos primeros factores (los que explican mayor varianza) y un perfil de pesos de las variables dentro de cada factor.

LA METODOLOGÍA INFORMÁTICA

Para el presente trabajo se ha elaborado un programa Fortran-IV, nivel G, organizado modularmente para realizar optativamente los diferentes cálculos o representaciones gráficas. El ordenador utilizado ha sido el I. B. M. 360/44 del Centro de Cálculo del C. S. I. C. de Madrid.

El programa genera la escala phi de tamaños o la escala media-phi —opcionalmente—, salvo que le sea suministrada otra diferente a través de la lectura de tarjetas. Todas las muestras a tratar deberán haber sido tamizadas con la misma escala.

Los porcentajes de peso retenidos en cada tamiz, para as distintas muestras, serán los datos a facilitar. Opcionalmente pueden suministrarse los pesos absolutos y el programa calculará los porcentajes.

La primera subrutina PRMT calcula los parámetros comunes. Mediante interpolación en escala logarítmica ( $\phi$ ), obtiene los percentiles y, posteriormente, aplica las fórmulas adecuadas.

La segunda subrutina (CURDIS) calcula los parámetros estadísticos, previo reparto de la parte final de la curva de frecuencias (fracción fina no retenida) en dos intervalos icticios, según la relación que le indiquemos.

La tercera subrutina (LOGNM) representa la curva de frecuencias acumuladas en escala logarítmico-gaussiana.

Si la acumulación de los porcentajes de pesos no llegase al 75 %, la muestra es rechazada y pasamos a considerar a siguiente. Si no se llegase al 84 % o al 90 %, evidentemente, algunos parámetros no podrán ser calculados; finalmente, cuando no se alcanza el 90 %, la subrutina CURDIS o actuará.

Aunque no se ha aplicado en este trabajo, otra subrutina

(GRDIS) representará un gráfico de dispersión en el plano de dos cualesquiera de los parámetros calculados.

Las muestras van siendo tratadas sucesivamente mediante un proceso recurrente de cálculo y la ejecución del programa se detiene cuando, al final de todos los datos, encuentra una marca de final de fichero.

EXPOSICIÓN DE RESULTADOS

a) La representación gráfica de los histogramas de frecuencias acumuladas en escala logarítmico-gaussiana ha puesto de manifiesto la existencia de una lognormalidad subyacente en todas las muestras estudiadas. Si bien en algunas dicha lognormalidad es claramente observable, en otras aparece una truncación a partir del valor  $3\phi$ .

b) El análisis factorial que hemos realizado, tomando como variables los parámetros estadísticos, pone de manifiesto la existencia de tres factores principales que, en conjunto, explican el 86 % de la varianza total de las muestras (fig. 3).

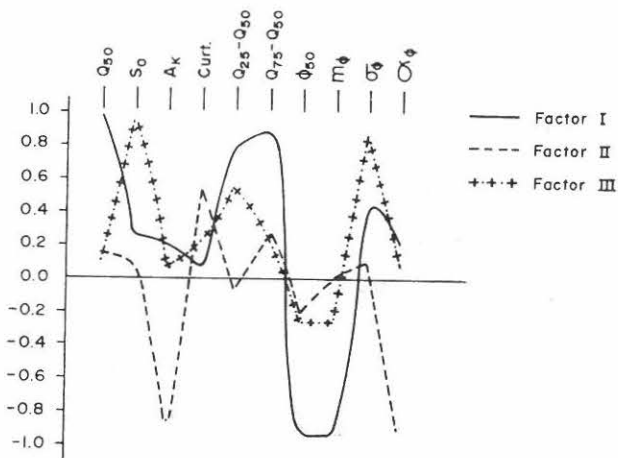


Fig. 3.—"Perfiles de peso" de los factores resultantes del análisis factorial en el que se han tomado como variables parámetros sedimentológicos.

**Factor I.**—Explica el 58 % de la varianza, correspondiendo los pesos más altos a las variables que dan medidas de centralización ( $Q_{50}$ ,  $\phi_{50}$ ,  $m\phi$ ) y a las variables ( $Q_{25}-Q_{50}$ ) y ( $Q_{50}-Q_{75}$ ).

**Factor II.**—Explica el 18 % de la varianza y los pesos más altos corresponden a la asimetría de Krumbein ( $A_k$ ) y a la  $\alpha\phi$  de Inman, siendo ambas medidas de sesgo (momentos de orden impar).

**Factor III.**—Explica el 10 % de la varianza y corresponde a la selección de Trask ( $S_0$ ) y a la  $\sigma\phi$  de Inman, medidas de selección (momentos de orden par).

De este análisis factorial se deduce que la mejor

representación planar para obtener una separación máxima entre muestras es aquella en la que se presentan medidas de centralización frente a medidas de asimetría; al menos en lo que a nuestro caso se refiere. Esto está de acuerdo con la metodología propuesta, entre otros, por MASON y FOLK (1958) y FRIEDMAN (1961).

c) El segundo análisis factorial, cuyas variables introducidas eran los porcentajes de peso retenidos en cada tamiz, ha puesto de manifiesto igualmente la presencia de tres factores principales que explican en conjunto el 81 % de la varianza de las muestras (fig. 4).

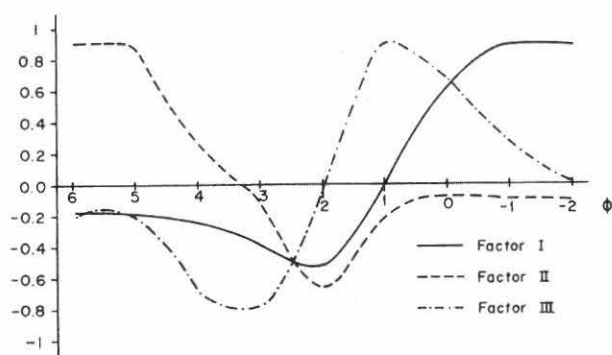


Fig. 4.—"Perfiles de peso" de los factores resultantes del análisis factorial en el que se han tomado como variables los pesos retenidos en cada tamiz.

**Factor I.**—Su "perfil de peso" muestra claramente su asociación a los pesos correspondientes a la fracción gruesa, por encima del valor 1 de la escala  $\phi$  (0,5 mm.), explicando el 45 % de la varianza.

**Factor II.**—Se asocia fuertemente a la fracción fina del sedimento, tamaños menores del valor 4 de la escala  $\phi$  (0,06 mm.), explicando el 24 % de la varianza. Estos tamaños son los responsables de la asimetría por truncamiento de la distribución de algunas muestras.

**Factor III.**—En el "perfil de peso" de este factor se observa su asociación a los pesos retenidos en los tamices, 0, 1, 3 y 4 de la escala  $\phi$ , si bien aparecen afectados por signos diferentes, positivos los dos primeros y negativos los dos últimos. La forma del "perfil de pesos" sugiere claramente la influencia de un fenómeno de selección: la mitad de los tamices en contraposición a la otra mitad y con pesos decrecientes al alejarse del intervalo central.

Los resultados de este análisis factorial están totalmente de acuerdo con los obtenidos por ALLEN *et al.* (1972), autores que han interpretado estos resultados como debidos a la posible acción conjunta, en la génesis del sedimento, de los diferentes mecanismos

de transporte comúnmente aceptados, si bien la importancia de cada uno de ellos depende de las características del medio y de la naturaleza textural del material transportado.

La importancia que el factor II da a la fracción menor de 4  $\phi$  debe ser tratada con cuidado a la hora de pasar a la interpretación sedimentogenética, dado que en muchos casos el porcentaje real de dicha fracción que ha sido transportado se puede ver modificado por procesos postsedimentarios de alteración diagenética o hipergénica.

## CONCLUSIONES

1. Del estudio de las muestras se pone de manifiesto el que el tamaño en los sedimentos detríticos tiende a distribuirse lognormalmente, lo cual puede interpretarse como un predominio claro de un modo de transporte.
2. La utilización de diagramas  $Md \phi - \alpha \phi$  y  $Md \phi - \sigma \phi$  para la discriminación de poblaciones parece ser una técnica adecuada, ya que el análisis factorial de los parámetros estadísticos revela que las medidas de centralización, asimetría y dispersión pueden explicar la mayor cantidad de la varianza total de las muestras.  
En nuestro caso, las medidas de centralización, un 58 %; las de asimetría, un 18 %, y las de selección, un 10 %.
3. La utilización como variables de los pesos retenidos en cada tamiz nos pone de manifiesto que si bien el método de KLOVAN (1966) puede ser válido para sedimentos actuales, su aplicación a sedimentos antiguos puede plantear problemas, ya que no toda la distribución de tamaños responde a la dinámica y modo de transporte de los detríticos, sino que puede ser debido a procesos postsedimentarios que provocan alteraciones en la distribución inicial de los mismos, por procesos de alteración de fases detríticas lábiles.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALLEN, G. P.; CASTAING, P. y KLINGEBIEL, A.  
1972. Distinction of elementary sand population in the Gironde estuary (France) by R-mode factor analysis of grain-size data. *Sedimentology*, 19, 21-35.
- AZCÁRATE, J. E.  
1970. Metodología y técnica para la prospección y valoración de placeres aluviales con casiterita. ENADIMSA, I. N. I., 204 págs.
- FRIEDMAN, G. M.  
1961. Distinction between dune, beach and river sands from their textural characteristics. *Jour. Sedimentary Petrology*, 31, 737-753.

- FULLER, A. O.  
1961. Size characteristics of shallow sands from cape of good hupe, South Africa. *Jour. Sedimentary Petrology*, 31, 256-261.
- KLOVAN, J. E.  
1966. The use of factor analysis in determining depositional environments from grain-size distribution. *Jour. Sedimentary Petrology*, 36, 115-125.
- MASON, C. C. y FOLK, R. L.  
1958. Differentiation of beach, dune, and aeolian flat environments by size analysis, Mustang Islands, Texas. *Jour Sedimentary Petrology*, 28, 211-226.
- MIDDLETON, C. V.  
1970. Generation of the log-normal frequency distribution in sediments. *Geologic hypotheses and probability distributions*, 34-42.
- SPENCER, D. W.  
1963. The interpretation of grain sizes distribution curves of clastic sediments. *Jour. Sedimentary Petrology*, 33, 180-190.
- VISHER, G. S.  
1969. Grain size distribution and depositional processes. *Jour Sedimentary Petrology*, 39, 1074-1106.

Recibido el 14 de diciembre de 1978.