

Modelos jerárquicos “por piezas” en el análisis de la relación entre discontinuidad conductual y discontinuidad en procesos subyacentes

María Victoria Hernández Lloreda¹, Fernando Colmenares² y Rosario Martínez Arias¹

¹Departamento de Metodología de las Ciencias del Comportamiento, Universidad Complutense de Madrid (España)

²Departamento de Psicobiología, Facultad de Psicología, Universidad Complutense de Madrid (España)

Resumen: Todo sistema, y por tanto cualquier sistema social, está sometido a un proceso constante de cambio a lo largo del tiempo. El estudio del desarrollo ya sea individual o social ha sido un campo plagado de problemas tanto teóricos como metodológicos. Una de las polémicas tradicionales en el estudio del desarrollo es la que se refiere a la naturaleza del mismo, esto es, si el cambio que se produce durante la ontogenia es de naturaleza continua o discontinua, con las implicaciones que esto tiene sobre el papel de las experiencias previas sobre el comportamiento posterior del individuo o sistema social del que se trate. El estudio de la continuidad en el desarrollo ha tenido como una importante fuente de datos el estudio de la conducta observable, infiriéndose a partir de los cambios en la misma, cambios en los procesos subyacentes. Ahora bien, la ausencia de isomorfismo entre conducta y procesos ha sido ampliamente documentada, lo que cuestiona la inferencia directa de discontinuidades en los procesos a partir de discontinuidades en la conducta observada. En este trabajo proponemos el uso de modelos de regresión jerárquicos “por piezas” como una herramienta de gran utilidad en el estudio de la relación entre discontinuidades conductuales y discontinuidades en los procesos subyacentes. Presentamos el modelo general y ejemplificamos su uso con datos de relación madre-cría en primates no humanos procedentes de un estudio longitudinal.

Palabras clave: Modelos de regresión jerárquicos; modelos jerárquicos por piezas; cambio; discontinuidad; desarrollo del comportamiento y relaciones sociales.

Title: Piecewise hierarchical modelling and the assessment of the relation between discontinuity in behavioural outcomes and discontinuity in the underlying process.

Abstract: It is a well-established principle that behaviour and social relationships change over time. One major challenge of developmental behavioural scientists is to find quantitative models that can capture the nature of such changes, for example, if they are continuous. The issue of continuity in behavioural development is not an easy one to grasp both conceptually and methodologically. Abrupt changes in the rate of change or changes in the direction of change can be used as operational measures of developmental discontinuity. However, discontinuities in the development of behavioural outcomes may or may not reflect discontinuities in the underlying processes. In this paper, we use a two-piece linear model to explore its utility in the analysis of the relation between age-dependent patterns of behavioural or relationship change and its underlying processes. Behavioural data from 23 mother-infant pairs of hamadryas baboons (*Papio hamadryas*), housed at the Madrid Zoo, were collected over the first year of life, using focal animal sampling and time sampling methods. The results of the multilevel hierarchical analysis revealed the existence of a curvilinear relation between the time that both partners spent together (i.e., within 50cm) and the infant's age, the discontinuity in this behavioural outcome emerging at the age of about four months and a half. The application of the two-piece linear model showed that the association between the mother's age and the developmental course of this spatial unit did change when the two periods (i.e., before and after the occurrence of the discontinuity) were analysed separately. This finding can be taken to suggest that the discontinuity in the behavioural outcome observed could be driven by a discontinuity in underlying processes linked to the mother's age. We conclude that multilevel hierarchical models in general and piecewise linear models in particular can be helpful in unraveling principles of behavioural development.

Key words: Hierarchical linear models; piecewise linear models; change; discontinuity; behavioural development and social relationship.

©Una constante de todo ser vivo es el proceso de cambio en el que está inmerso desde su concepción hasta su muerte. Cambio que, por

otro lado, no es incompatible con la preservación de características individuales que hacen que sea reconocible a lo largo de toda su existencia (Gottlieb, 1992). En el estudio de las diferencias individuales en la conducta un objetivo prioritario ha sido determinar si los factores que influyen en el comportamiento diferencial de los individuos en un momento concreto de su desarrollo son también responsables de las

* Dirección para correspondencia: María Victoria Hernández Lloreda. Departamento de Metodología de las Ciencias del Comportamiento. Facultad de Psicología. Universidad Complutense de Madrid. Campus de Somosaguas. 28223 Madrid (España).
E-mail: vhlloreda@psi.ucm.es

diferencias en el comportamiento en fases posteriores (Kagan, 1978; Bateson, 1978; Sackett, Sameroff, Cairns y Suomi, 1981; Hinde y Bateson, 1984). Se trata, por tanto, de determinar si las experiencias previas tienen un efecto “continuo” en el desarrollo o si, por el contrario, sólo son responsables de las diferencias en momentos puntuales, pero su efecto no persiste a largo plazo. La consideración de la naturaleza del desarrollo en términos de continuidad o discontinuidad ha sido motivo de fuerte polémica en el estudio de la ontogenia del comportamiento, generando una gran cantidad de trabajos que, de una forma u otra, han presentado resultados contradictorios, apoyando con evidencia empírica las dos posiciones enfrentadas: *i.e.*, el desarrollo como proceso de naturaleza continua frente a la discontinuidad como elemento distintivo de la ontogenia (Sackett *et al.*, 1981; Bateson, 1981; Hinde y Bateson, 1984).

Desde una posición continuista, los estadios precedentes en el desarrollo se consideran determinantes de estadios posteriores. El papel de la experiencia temprana, por tanto, es esencial y predictivo del comportamiento futuro (Spitz, 1945; Bowlby, 1951; Higley y Suomi, 1989; Suomi, 1995, 1997). Desde una posición discontinuista, en cambio, el desarrollo conductual se considera afectado por factores discretos. Las experiencias previas no ejercen un papel determinante del desarrollo posterior (Clarke y Clarke, 1976; Kagan, 1976, 1992; Kagan y Klein, 1973). Las innovaciones conductuales no tienen por qué tener antecedentes en el desarrollo por lo que la experiencia previa constituiría un factor necesario pero no suficiente para predecir el comportamiento en fases posteriores.

Como hemos señalado, la determinación de la naturaleza del cambio comportamental (continuo *vs.* discontinuo) ha sido y continua siendo un tema controvertido. Sin embargo, parte de la polémica se ha generado, en gran medida, no tanto por resultados contradictorios, como por confusión en el terreno terminológico y conceptual (Bateson, 1978). La revisión de la literatura nos indica que los criterios que se han utilizado para decidir el carácter continuo o dis-

continuo del desarrollo han sido en gran parte arbitrarios (Hinde y Bateson, 1984). Como señalan Hinde y Bateson (*op. cit.*), la mayor parte de las supuestas demostraciones de continuidad o discontinuidad han provenido de diferentes campos conceptuales donde la evidencia, lejos de ser contradictoria, apoya en muchos casos aspectos diferentes, pero complementarios, del desarrollo. Según estos autores, la evidencia de discontinuidad referida en muchos trabajos de investigación puede clasificarse en cinco categorías distintas. En primer lugar, emergencias de nuevos patrones conductuales o desapariciones de otros ya existentes en el repertorio conductual del organismo (p. ej., la transición de la conducta de succión a la de ingestión de alimento sólido característica de la ontogenia de los mamíferos). En segundo lugar, alteraciones repentinas en la tasa de cambio de una determinada conducta (p. ej., máximos o mínimos en las funciones de desarrollo). En tercer lugar, cambios en los patrones de correlación entre diferentes conductas. En cuarto lugar, reorganizaciones conductuales en el sentido de cambios en la contribución cuantitativa de las diferentes conductas al repertorio comportamental de un sujeto en momentos distintos de la ontogenia. Y en quinto y último lugar, cambios en la ordenación de los sujetos en relación con la frecuencia de ejecución de una determinada conducta. Cada uno de estos aspectos, que se han tratado como fuentes de evidencia de discontinuidades, refleja, sin embargo, fenómenos diferentes. No cabe duda de que todos suponen alteraciones, pero de distinta índole, por lo que muchas veces las contradicciones no son tales sino el resultado de mezclar y presentar como manifestaciones de un mismo proceso fenómenos de naturaleza heterogénea (Hinde y Bateson, 1984; Emmerich, 1964; Sackett *et al.*, 1981; Kagan, 1978).

Ahora bien, la búsqueda de evidencia a favor de una u otra postura no es un proceso ciego a planteamientos teóricos sino que va a estar necesariamente guiada por la concepción de lo que implica continuidad en el desarrollo. Encontramos también en este terreno diversidad de criterios. En primer lugar, entre los elemen-

tos de confusión se encuentra el problema de si las discontinuidades deben entenderse como cambios cualitativos o como cambios cuantitativos y, en cualquiera de los casos, hay que decidir si éstos tienen lugar a nivel de la conducta observable o a nivel de los procesos subyacentes. A su vez, con respecto a estas cuestiones, han de hacerse consideraciones adicionales. Así, si se considera que para hablar de discontinuidad debe tratarse de cambios cualitativos, ésta puede hacer referencia a la simple presencia de un cambio o al hecho de si es posible predecir estadios subsiguientes a partir de estadios anteriores (Sackett *et al.*, 1981). Por otro lado, en cuanto a si lo relevante en el estudio del cambio es que éste tenga lugar bien en los productos (las conductas) o bien en los procesos (factores causales subyacentes), también encontramos cierta confusión en la literatura (Lord, 1963; Bereiter, 1963). La mayor parte de los trabajos sobre el desarrollo se han centrado en la conducta observable y en gran parte de estos se considera que la demostración de discontinuidad en el desarrollo requiere la observación de cambios repentinos, ya que es poco probable que cambios graduales puedan ser atribuidos a cambios en los mecanismos subyacentes. Por tanto, pese a centrarse en la conducta observable, el concepto de discontinuidad implícito en este planteamiento es el de cambio en las estructuras o procesos que subyacen a la conducta (Bateson, 1978, 1981). Sin embargo, es frecuente observar cambios conductuales sin que se produzcan cambios en las estructuras que las controlan o, por el contrario, que cambios en estructuras o procesos subyacentes no tengan un correlato a nivel de cambios conductuales. Esta ausencia de isomorfismo entre conducta observable y procesos ha sido ampliamente documentada (revisiones: Bateson, 1978; Sackett *et al.*, 1981; Hinde y Bateson, 1984; Karmiloff-Smith, 1992).

En este trabajo se propone una aproximación al problema de la relación entre procesos y conducta observable basada en la utilización de modelos de regresión jerárquicos en el ajuste de funciones de crecimiento (Bryk y Raudenbush, 1987, 1992; Goldstein, 1995; van der

Leeden, 1998; Snijders y Bosker, 1999). Más en concreto, en el ajuste de los denominados *modelos lineales de crecimiento por piezas* ("piecewise") (Bryk y Raudenbush, 1992).

Modelos de regresión jerárquicos

Los modelos de regresión jerárquicos han sido desarrollados para el análisis de datos que presentan una estructura jerárquica o anidada. Hablamos de estructura anidada cuando los datos están agrupados en unidades de diverso orden, cada una con propiedades específicas del nivel de agrupamiento considerado. Por ejemplo, en las ciencias sociales a menudo se trabaja con datos procedentes de individuos pertenecientes a grupos que a su vez pueden pertenecer a grupos de nivel superior. El análisis de datos mediante estos modelos es capaz de apresar dicha estructura, explorando la relación entre las unidades de observación que constituyen la estructura jerárquica (Bryk y Raudenbush, 1987, 1992; Goldstein, 1995; Goldstein, Rasbash, Plewis, Draper, Browne, Yang, Woodhouse y Healy, 1998; van der Leeden, 1998; Snijders y Bosker, 1999). Cada uno de los niveles de la estructura jerárquica es representado formalmente con su propio submodelo. Cada submodelo expresa las relaciones entre variables dentro de un determinado nivel y el conjunto de submodelos especifica de qué modo variables de un nivel influyen en las relaciones que ocurren a otro nivel distinto, quedando de este modo formalizada esta estructura anidada de los datos. Estos modelos han aparecido en la literatura bajo diferentes denominaciones: *modelos lineales multinivel* ("multilevel linear models") (Goldstein, 1987; Mason, Wong y Entwistle, 1983); *modelo de efectos fijos y efectos aleatorios* ("mixed-effect models and random-effects models") (Elston y Grizzle, 1962; Laird y Ware, 1982); *modelos de regresión de efectos aleatorios* ("random coefficient regression models") (Rosenberg, 1973) y *modelos de componentes de covarianza* ("covariance components models") (Dempster, Rubin y Tsutakawa, 1981; Longford, 1987).

Una de las aplicaciones de estos modelos es su uso en el estudio del cambio conductual

(Laird y Ware, 1982; Strenio, Weisberg y Bryk, 1983; Mason *et al.*, 1983). (Para una exposición del tema véase Bryk y Raudenbush (1987, 1992); Snijders y Bosker (1999).) El estudio del cambio en el desarrollo implica la observación de uno o más individuos a lo largo del tiempo. Se dispone, por tanto, de datos longitudinales. Este tipo de datos constituyen un caso especial de estructuras jerárquicas o anidadas. Podemos considerar a las diferentes observaciones anidadas en cada individuo dando lugar a una estructura, por tanto, de dos niveles. Las sucesivas observaciones se sitúan en el nivel más bajo de esta jerarquía y los individuos en el nivel inmediatamente superior. Esta estructura de dos niveles nos conduce a la formalización de un modelo jerárquico de dos niveles. Centrando nuestra exposición en los datos longitudinales, el modelo de dos niveles está compuesto por dos submodelos (*modelo intra-sujeto* y *modelo inter-sujeto*).

El modelo *intra-sujeto* (modelo de *nivel 1*) representa la trayectoria individual de la conducta a lo largo del tiempo. Esta trayectoria viene definida por un conjunto de parámetros individuales (ecuación 1).

$$Y_{ti} = \beta_{0i} + \beta_{1i}T_{ti} + \beta_{2i}T_{ti}^2 + \dots + \beta_{pi}T_{ti}^p + e_{ti} \quad (1)$$

La conducta Y de un sujeto i en un momento temporal t es expresada como función polinómica del tiempo (T) (o edad del sujeto) más error aleatorio. Los coeficientes β_{0i} , β_{1i} ,... β_{pi} son los que definen la función de desarrollo. El término aleatorio e_{ti} es el error en la predicción, el efecto de otras variables que pueden influir en la conducta Y , incluido el error de medida.

Los parámetros concretos que determinan la forma de la trayectoria en el *nivel 1* pueden variar de individuo a individuo y en función de ciertas características de los mismos. La variación de los parámetros nos sitúa ya en el *nivel 2* o *modelo inter-sujeto*. En este segundo nivel los parámetros del *nivel 1* se convierten en las variables dependientes del segundo nivel, donde podemos encontrar diferentes formas de variación desde variación simple o aleatoria (ecuación 2) hasta variación en función de variables individuales (ecuación 3).

$$\begin{aligned} \beta_{0i} &= \gamma_{00} + u_{0i} \\ \beta_{1i} &= \gamma_{10} + u_{1i} \\ &\vdots \\ \beta_{pi} &= \gamma_{p0} + u_{pi} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \beta_{0i} &= \gamma_{00} + \gamma_{01}Z_i + u_{0i} \\ \beta_{1i} &= \gamma_{10} + \gamma_{11}Z_i + u_{1i} \\ &\vdots \\ \beta_{pi} &= \gamma_{p0} + \gamma_{p1}Z_i + u_{pi} \end{aligned} \quad (3)$$

En estos modelos los términos γ_{00} , γ_{10} ... γ_{p0} representan la parte común a todos los individuos (parte fija de los coeficientes). Las fluctuaciones en los parámetros entre los diferentes individuos vienen representadas por los términos u_{0i} , u_{1i} ... u_{pi} y nos indican la desviación, con respecto a la trayectoria media, de las curvas de crecimiento individuales. En la ecuación 3, γ_{01} , γ_{11} ... γ_{p1} representan el efecto de la variable Z en los parámetros de crecimiento (β_{0i} , β_{1i} ... β_{pi}), de esta forma, parte de las variaciones en los coeficientes puede explicarse mediante otras variables Z de segundo nivel.

El *modelo intra-sujeto* permite contemplar si la conducta bajo estudio presenta un patrón temporal en función del desarrollo (cambio cuantitativo), mientras que el *modelo inter-sujeto* nos permite adentrarnos en el campo de los mecanismos subyacentes a la conducta, qué factores determinan el rango de variación dentro del cual se puede mover la trayectoria conductual de un sujeto durante su ontogenia (Bryk y Raudenbush, 1992).

Modelos lineales jerárquicos “por piezas”

El procedimiento de análisis “por piezas” (*piecewise linear growth models*) supone una alternativa a la modelización mediante polinomios cuando la exploración visual de los datos sugiere no linealidad (Bryk y Raudenbush, 1992). El análisis

"por piezas" consiste en dividir el tiempo total de estudio que se pretende analizar en diferentes periodos y ajustar un modelo lineal en cada uno de ellos. El objetivo consiste en buscar la ecuación lineal que mejor represente el cambio de la variable analizada en cada periodo estudiado.

Mediante el ajuste de modelos jerárquicos podemos estudiar la trayectoria individual de una conducta, la trayectoria media de la conducta para un grupo de individuos (parte fija del modelo), el rango de variación en torno a esta trayectoria media así como las variables vinculadas a este proceso de cambio. La división del tiempo total de estudio en diferentes periodos permite responder a cuestiones de relevancia teórica considerable y que son abordadas con frecuencia en el estudio del desarrollo. En primer lugar, si la tasa de cambio conductual es diferente en cada periodo, esto es, si el ritmo de cambio difiere de un periodo a otro. En segundo lugar, si la variabilidad en las trayectorias individuales difiere en los periodos analizados. Y en tercer lugar, si los indicadores de los procesos que subyacen al cambio difieren entre los mismos, esto es, si se han producido cambios en las variables que explican la variación detectada entre las trayectorias individuales en los diferentes periodos de estudio.

Y es precisamente esta tercera posibilidad la que permite que nos acerquemos al problema de la relación entre discontinuidad conductual y discontinuidad en los procesos. Los modelos "por piezas" permiten explorar si los cambios en las trayectorias conductuales van unidos a cambios en factores que utilizamos como indicadores de los procesos que invocamos para "explicarlas". Así, estos factores que explican parte de la variación conductual pueden arrojar luz sobre procesos subyacentes al comportamiento, por lo que cambios en estos factores pueden estar reflejando cambios en los procesos.

Realizando ajustes para los periodos anterior y posterior a una "discontinuidad" comportamental observada, y estudiando correlatos antes y después de dicha discontinuidad, podemos acercarnos al estudio de esta relación. A continuación presentamos la formulación del modelo para el caso de un modelo de dos piezas (ajuste de funciones lineales a dos periodos). Su extensión al caso de más periodos puede hacerse de forma directa.

Previo al ajuste del modelo es preciso recodificar la variable que indica el momento temporal al que pertenecen las observaciones (edad, estadio, etc.). Bryk y Raudenbush (1992) señalan posibles esquemas de recodificación que hemos recogido en la Tabla 1.

Tabla 1: Posibles esquemas de codificación para un modelo de 2 piezas. Adaptado de Bryk y Raudenbush, 1992.

	observaciones						Interpretación de β_s
	1	2	3	4	5	6	
a_{1t}	0	1	2	2	2	2	β_1 tasa de cambio en el periodo 1
a_{2t}	0	0	0	1	2	3	β_2 tasa de cambio en el periodo 2
							β_0 estatus inicial en el momento 1
a_{1t}	-2	-1	0	0	0	0	β_1 tasa de cambio en el periodo 1
a_{2t}	0	0	0	1	2	3	β_2 tasa de cambio en el periodo 2
							β_0 estatus inicial en el momento 1

El modelo *intra-sujeto* o modelo de *nivel 1* presenta la forma

$$Y_{it} = \beta_{0i} + \beta_{1t}a_{1it} + \beta_{2t}a_{2it} + e_{it} \quad (4)$$

Siendo a_{1t} y a_{2t} las variables recodificadas tal como han sido definidas en la Tabla 1. En este modelo el parámetro β_0 representa el estatus inicial en el momento 1, o inicio del estudio, el parámetro β_1 indica la tasa de cambio en el pe-

riodo 1 de estudio y el parámetro β_2 , la tasa de cambio en el periodo 2.

Al igual que en el caso de ajustes polinómicos, el modelo *inter-sujeto* (*nivel 2*), puede ser un modelo de variación aleatoria (ecuación 5) o un modelo de variación compleja donde parte de la variación de los parámetros individuales depende de variables de *nivel 2*. Estas variables explicativas podrían diferir de un periodo a otro (ecuación 6)

$$\begin{aligned}\beta_{0i} &= \gamma_{00} + u_{0i} \\ \beta_{1i} &= \gamma_{10} + u_{1i} \\ \beta_{2i} &= \gamma_{20} + u_{2i}\end{aligned}\quad (5)$$

$$\begin{aligned}\beta_{0i} &= \gamma_{00} + \gamma_{01}Z_i + u_{0i} \\ \beta_{1i} &= \gamma_{10} + \gamma_{11}Z_i + u_{1i} \\ \beta_{2i} &= \gamma_{20} + \gamma_{21}Q_i + u_{2i}\end{aligned}\quad (6)$$

Ajuste de un modelo polinómico y de un modelo “por piezas” en el estudio del cambio en la relación madre-cría

Tanto en los mamíferos en general como en los primates en particular, entre los que se encuentra la especie humana, la relación entre una madre y su cría resulta ser fundamental para el desarrollo normal físico, psicológico y social de la cría (Pryce, 1995; Hrdy, 1999). Pese a que la relación puede persistir toda la vida (Nicolson, 1987, 1991), la naturaleza de este vínculo va experimentando cambios importantes durante la ontogenia, siendo el curso y naturaleza de esta relación vitales para el desarrollo posterior del individuo. En los primeros meses de vida, la relación entre una madre y su cría se mantiene principalmente por comportamientos de contacto y por conductas que regulan la proximidad espacial entre los dos miembros de la díada, *i.e.*, acercamientos y alejamientos. El entorno de la cría, que en las primeras semanas está constituido casi exclusivamente por el vientre de la madre, comienza a ampliarse a otros contextos físicos y sociales. El manteni-

miento de la distancia “adecuada” entre la madre y la cría va siendo “negociada” y regulada a lo largo del desarrollo en un proceso dinámico al que ambos miembros, en función de sus intereses, contribuyen activamente. En el desarrollo de esta relación parecen existir importantes diferencias interindividuales. Variables como la *experiencia reproductiva* de la madre (*i.e.*, número de crías previas), la *edad* de la madre y el *sexo* de la cría podrían jugar un papel importante en el curso de la relación. Se trata de variables predictoras o explicativas con un protagonismo muy destacado en buena parte de las teorías psicobiológicas y etológicas actuales que pretenden esclarecer las fuentes de variación observadas, a nivel intra-específico e inter-específico, en las relaciones materno-filiales (revisión: Hernández Lloreda, 2001).

Método

Sujetos

Los datos proceden de un estudio observacional del comportamiento de 23 díadas madre-cría de la colonia de primates no humanos (babuinos hamadriades, *Papio hamadryas*) del Zoo de Madrid. Se dispone de datos recogidos durante el primer año de vida de la cría sobre un total de 28 unidades de comportamiento.

Procedimiento

En la ejemplificación del uso de los modelos jerárquicos “por piezas” utilizaremos los datos correspondientes al tiempo que la madre y la cría permanecen en un radio de 50 cm a lo largo de este primer año de vida.

Se consideran además tres variables que, como hemos señalado, podrían funcionar como potenciales predictoras del cambio en la relación materno-filial: el *sexo* de la cría y la *edad* y *experiencia reproductiva* de la madre (*i. e.*, número de crías previas).

El comportamiento de los sujetos del estudio se muestreó y registró durante 25 quincenas, que abarcan el periodo comprendido entre

el nacimiento y los 380 días de edad (52 semanas). Cada una de estas 25 quincenas, que hemos denominado genéricamente estadios, comprende a su vez registros realizados en sesiones repartidas a lo largo de 4 a 9 días distintos. Se siguió la técnica de muestreo focal o de animal-focal (Altmann, 1974; Martín y Bateson, 1993; Lehner, 1996; Anguera, 1990; Quera, 1993). El periodo focal fue de 15 minutos. Durante el periodo de observación focal se llevó a cabo un registro continuo (Martín y Bateson, 1993) de lo que la cría focal hacía y lo que recibía de la madre. A su vez, se llevó a cabo un muestreo instantáneo o de puntos de tiempo (Anguera, 1990, Quera, 1993, 1997, Martín y Bateson, 1993) de los estados espaciales entre la madre y la cría.

Análisis de datos

La unidad de conducta analizada, tiempo que la madre y la cría permanecen *en un radio de 50 cm*, está medida en términos de proporciones por lo que fue transformada mediante el arcoseno de la raíz cuadrada ($Y = \arcsen(\sqrt{p})$) para aproximarlos a la distribución normal, uno de los requisitos de la técnica utilizada (Martín y Bateson, 1993; Sokal y Rohlf, 1995).

En este trabajo se va a proceder al ajuste de un modelo de regresión jerárquico de dos niveles. El nivel inferior o *nivel 1* está compuesto por los diferentes momentos temporales en los que ha sido registrada la conducta (25 estadios). El nivel superior o *nivel 2* está compuesto por las 23 díadas madre- cría. En primer lugar procederemos al ajuste de un modelo de regresión jerárquico en el que se modeliza el desarrollo de la conducta como función polinómica de la edad de la cría. En segundo lugar presentaremos el ajuste de un modelo de *dos piezas*.

Los ajustes a los modelos de regresión multinivel han sido realizados con el programa estadístico HLM (Hierarchical Linear Models) para Windows, versión 4.01.01 (Bryk, Raudenbush y Congdon, 1996).

Resultados

Modelo jerárquico de dos niveles: ajuste a una función polinómica

La exploración visual de los datos revela la existencia de un aumento progresivo de la presencia de la conducta y a partir de un determinado momento una disminución de la misma. Esto nos lleva al ajuste de una función curvilínea. Tras los análisis realizados encontramos que el modelo que mejor parece definir la trayectoria de la conducta a lo largo de este primer año de la ontogenia es un polinomio de grado tres con los parámetros que figuran en la Tabla 2. La trayectoria media estimada (parte fija del modelo) y las trayectorias individuales estimadas para las 23 díadas, se representa en la Figura 1. Con respecto a la trayectoria media, el tiempo que la madre y la cría permanecen fuera de la posición de contacto y dentro de un radio de 50 cm es nulo durante las primeras semanas de vida, aumentando progresivamente hasta alcanzar el máximo hacia los cuatro meses y medio, momento en el cual comienza a descender de nuevo. Hacia el final del periodo estudiado se observa una tendencia a la estabilidad de esta relación espacial (Figura 2).

Con respecto a la variación interindividual, encontramos que ésta es estadísticamente significativa para los coeficientes de los términos de primer y segundo grado de las trayectorias de las 23 díadas (Tabla 2, coeficientes aleatorios). Los individuos difieren, por tanto, en la tasa con la que va cambiando la relación espacial *estar en un radio de 50 cm* a medida que la cría va avanzando en su desarrollo. Las variables analizadas (*edad* y *experiencia reproductiva* de la madre y *sexo* de la cría) no mostraron una relación estadísticamente significativa con los parámetros de las funciones individuales.

Observando la función estimada encontramos una discontinuidad conductual en la trayectoria de desarrollo marcada por la presencia de un máximo que divide a la misma en dos periodos. Un primer periodo en el que el porcentaje de tiempo que la madre y la cría pasan

en el estado espacial *estar en 50 cm* aumenta progresivamente hasta alcanzar el máximo hacia el cuarto mes y medio de vida, seguido por un periodo de disminución del tiempo en este estado espacial. El ajuste de un modelo de dos piezas nos permitirá explorar si esta discontinuidad conductual podría estar asociada a

una discontinuidad en los procesos (a partir del estudio de sus indicadores). Para ello, examinamos si el cambio en la trayectoria de la conducta va unido a cambios en las variables que pueden explicar parte de la variación encontrada en las trayectorias conductuales de los sujetos.

Tabla 2: Dentro de un radio de 50 cm. Modelo polinómico. Estimaciones de los parámetros de crecimiento medios (efectos fijos) y componentes de la varianza (efectos aleatorios).

Efectos fijos	Coefficiente	Error típico	T-ratio	p	
β_1, γ_{10}	0,083180	0,005031	16,535	0,000	
β_2, γ_{20}	-0,006172	0,000591	-10,440	0,000	
β_3, γ_{30}	0,000126	0,000017	7,287	0,000	
Efectos aleatorios	Desviación típica	Varianza	g.l	χ^2	P
Estadio, U_1	0,00808	0,00007	22	40,53967	0,009
Estadio ² , U_2	0,00037	0,00000	22	38,56932	0,016
Residuos Nivel 1	0,14487	0,0209			

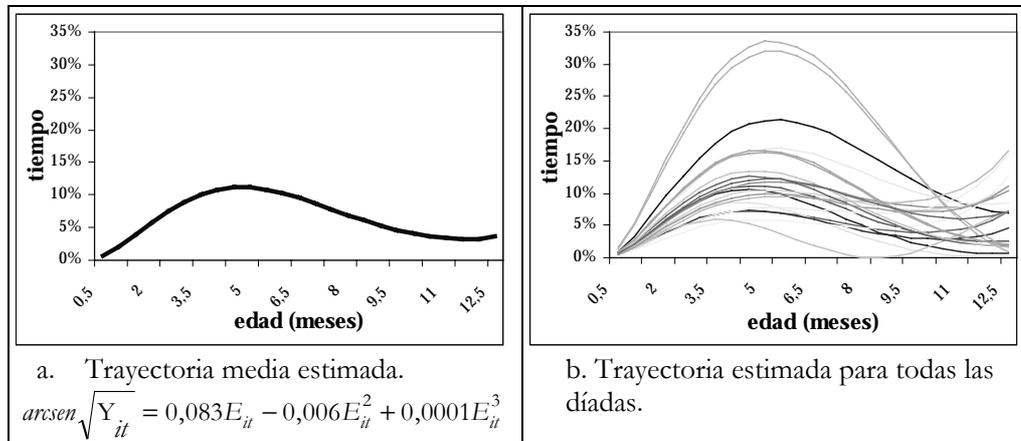


Figura 1: Dentro de un radio de 50 cm. Modelo polinómico. Trayectorias media e individuales estimadas.

Modelo de regresión jerárquico de dos piezas

La trayectoria media estimada en el ajuste polinómico presenta un máximo en el estadio 9, *i.e.*, a los cuatro meses y medio. En este momento el estado espacial *estar en un radio de 50 cm* tiende a remitir tras un periodo de creciente presencia en la relación madre-cría. Esto nos

lleva a ajustar un modelo jerárquico de dos piezas tomando como punto de corte los cuatro meses y medio. La división en estos dos periodos nos permitirá determinar si existen diferencias en el ritmo de cambio y en la variabilidad de las trayectorias y si los correlatos del cambio (variables explicativas) difieren entre los dos periodos estudiados. Esta última información va a permitir que nos acerquemos al problema

de si la discontinuidad observada, es decir, cambio en la dirección del cambio, podría tener que ver con una reorganización conductual. En otras palabras, si la discontinuidad conductual implica una discontinuidad en los procesos.

El primer modelo que ajustamos presenta la forma:

$$Y_{ii} = \beta_{1i} a_{1ii} + \beta_{2i} a_{2ii} + e_{ii}$$

$$\beta_{1i} = \gamma_{10} + u_{1i}$$

$$\beta_{2i} = \gamma_{20} + u_{2i}$$

En este modelo el parámetro que indica el estatus inicial en el primer periodo (β_{10}) no aparece debido a que la tasa de la conducta es nula

en el momento en el que se inicia el estudio: *i.e.*, el nacimiento de la cría. Los parámetros que definen la tasa de cambio en ambos periodos (parámetros β_1 y β_2) presentan variación aleatoria. El modelo resultante de este primer ajuste (Tabla 3) muestra una tasa media de cambio distinta en ambos periodos (β_1 y β_2) siendo más acusada en el primero que en el segundo. La variabilidad de los parámetros de cambio en ambos periodos también parece ser distinta, siendo mayor en el segundo que en el primer periodo. De hecho, la variabilidad en este primer periodo no resulta ser estadísticamente significativa.

Tabla 3: Dentro de un radio de 50 cm. Modelo de dos piezas incondicional. Estimaciones de los parámetros de crecimiento medios (efectos fijos) y componentes de la varianza (efectos aleatorios) para los dos periodos.

Efectos fijos	Coefficiente	Error típico	T-ratio	p	
β_1, γ_{10}	0,047359	0,002065	22,940	0,000	
β_2, γ_2	-0,016093	0,002024	-7,952	0,000	
Efectos aleatorios	Desviación típica	Varianza	g,l	χ^2	p
Periodo 1, U_1	0,00549	0,00003	20	28,99213	0,088
Periodo 2, U_2	0,00488	0,00002	20	32,40668	0,039
Residuos Nivel 1	0,15453	0,02388			

Una vez ajustado el modelo de variación aleatoria, la elección de las variables de *nivel 2* a incluir en el modelo (variables que pueden explicar parte de la variación en los parámetros individuales) se basa en la magnitud de las t-ratio (Bryk y Raudenbush, 1992). Los paquetes estadísticos desarrollados para estos modelos permiten análisis exploratorios de predictores potenciales. Una vez incluidas en el modelo, los contrastes de hipótesis sobre los efectos fijos permitirán decidir sobre la inclusión final de las variables. En nuestro caso las variables cuyo efecto sobre los parámetros individuales queremos contrastar son la *edad* y la *experiencia reproductiva* de la madre y el *sexo* de la cría. Las t-ratio se presentan en la Tabla 4. Debido a que la variación en los parámetros de cambio es significativa únicamente en el caso del segundo

periodo, será en éste en el que consideremos qué variables pueden explicar parte de dicha variación. La exploración de las t-ratios nos lleva a la inclusión de una única variable en el modelo, la *edad* de la madre, y en un único periodo, el periodo 2, ya que el valor de la t-ratio es superior a 1 (Bryk y Raudenbush, 1992). En la Tabla 5 se presentan los coeficientes del modelo de dos piezas en el que ha sido incluida la variable *edad* de la madre como explicativa de parte de la variabilidad en la tasa de cambio en el segundo periodo. Podemos apreciar que el parámetro correspondiente a la *edad* de la madre sí es estadísticamente significativo para el segundo periodo. Por tanto, el modelo final, debe recoger esta variable. Además, podemos observar que la variación deja de ser estadísticamente significativa al incluir este parámetro.

Tabla 4: Análisis exploratorio. t-ratios para cada predictor de *nivel 2* sobre los coeficientes de *nivel 1*. Datos sin transformar.

Predictores potenciales	Coeficientes de <i>nivel 1</i>	
	Periodo 1: β_1	Periodo 2: β_2
	t- ratio	t- ratio
Sexo	1.028	0,721
Edad	0.953	-2.568
Experiencia reproductiva	-0.304	-0.824

Tabla 5. Dentro de un radio de 50 cm. Modelo de dos piezas condicional. Estimaciones de los parámetros de crecimiento medios (efectos fijos) y componentes de la varianza (efectos aleatorios) para los dos periodos.

Efectos fijos	Coefficiente	Error típico	T-ratio	p	
β_1, γ_{10}	0,047396	0,002071	22,886	0,000	
β_2, γ_{20}	-0,006688	0,003897	-1,716	0,100	
$\gamma_{21}(\text{edad})$	-0,000064	0,000024	-2,690	0,014	
Efectos aleatorios	Desviación típica	Varianza	g.l	χ^2	p
Periodo 1 U_1	0,00552	0,00003	20	28,96466	0,088
Periodo 2 U_2	0,00237	0,00001	19	25,75456	0,137
Residuos Nivel 1	0,15459	0,02390			

En la Figura 2 presentamos las trayectorias medias en ambos periodos en función de la edad de la madre (Figura 2a) y las trayectorias individuales de las 23 díadas (Figura 2b). Apreciamos diferencias importantes en estos dos periodos. Mientras que en el primer periodo estudiado, la variación interindividual en las trayectorias no resulta ser estadísticamente significativa, ocurre lo contrario con la variación en el segundo periodo. Además, a partir de los cuatro meses y medio, la *edad* de la madre parece tener especial peso en las diferencias interindividuales, explicando parte de la variación en las mismas, hasta el punto de dejar de ser estadísticamente significativa la variación que queda sin explicar. A partir de los cuatro meses y medio son las madres jóvenes, por lo general, las que pasan más tiempo con la cría en un radio de 50 cm.

Así pues, aunque a nivel global no se detecte ningún efecto estadísticamente significativo

de las variables edad, sexo y experiencia reproductiva de la madre sobre las trayectorias conductuales a lo largo de este primer año de vida, el análisis “por piezas” de los periodos anterior y posterior a la discontinuidad conductual revela que el papel de la edad de la madre sobre el desarrollo de la relación espacial que mantiene ésta con su cría sí es importante ya que esta variable tiene un efecto discontinuo sobre la trayectoria de desarrollo del estado espacial analizado. El hallazgo de que la edad de la madre constituye un factor explicativo de la variabilidad interindividual en las trayectorias conductuales a partir de los cuatro meses y medio induce a pensar en la existencia de una posible reestructuración en esta etapa del desarrollo en los procesos que controlan el curso de la relación materno-filial que están vinculados a la edad de la madre.

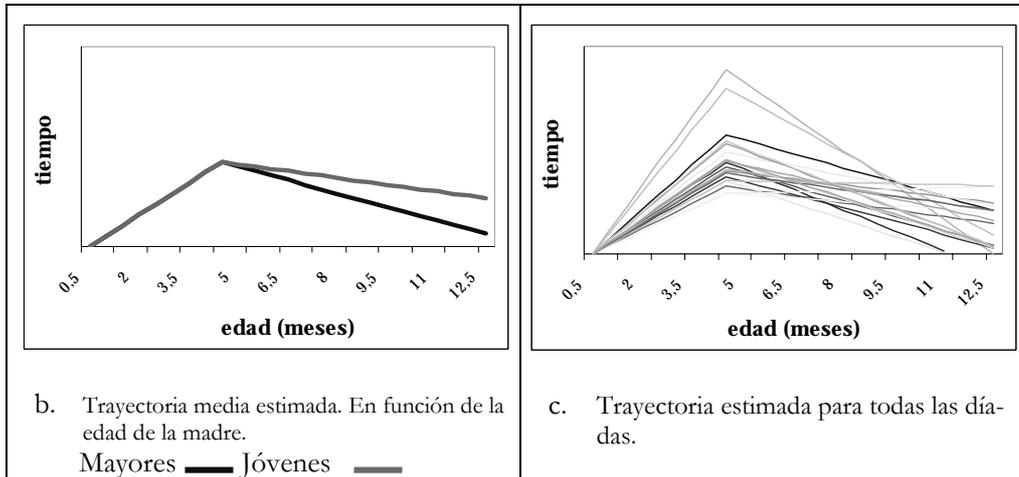


Figura 2: Dentro de un radio de 50 cm. Modelo de dos piezas. Trayectorias conductuales estimadas (OL) de las diferentes díadas para los dos período, *i.e.*, antes y después de los cuatro meses y medio. La escala del tiempo está transformada ($Y = \arcsen(\sqrt{p})$).

Discusión general y conclusiones

En este trabajo se propone la utilización de una de las aplicaciones descritas en el uso de los modelos jerárquicos en la determinación de la posible relación entre discontinuidad conductual y discontinuidad en los procesos subyacentes. Hemos mencionado la polémica en torno al estudio de la continuidad en el desarrollo, y dentro de ésta, el problema de la ausencia de isomorfismo entre conducta y procesos. La mayor parte de los estudios sobre continuidad en el desarrollo se han centrado en el cambio conductual, es decir, en los *productos* conductuales del desarrollo. La determinación de la naturaleza del desarrollo como continua o discontinua se ha basado en el estudio de la trayectoria de la conducta a lo largo del tiempo. La forma de estas trayectorias es la base de la inferencia sobre el proceso que las determina (si éste es continuo o discontinuo). La existencia de continuidad en la conducta observable se interpreta como evidencia de la operación de procesos continuos. Por otra parte, la ausencia de continuidad conductual se interpreta

como evidencia de discontinuidad en los procesos, al considerar bien que el proceso subyacente ha cambiado, o bien que las condiciones precedentes no han alterado el desarrollo, *i.e.*, no existe continuidad en el sentido de que no existe relación entre condiciones antecedentes y condiciones consecuentes. Existen diferentes causas por las que puede aparecer discontinuidad aparente sin que en realidad se haya producido una alteración en el proceso que controla la conducta: reducción de la variabilidad, diferentes tasas de desarrollo, procesos de auto-estabilización, cambios ambientales, etc. (Bateson, 1978). En definitiva, el problema de la ausencia de isomorfismo entre la conducta y los procesos puede invalidar la inferencia sobre discontinuidad que se basa únicamente en la consideración de los cambios observados. Ahora bien, la discontinuidad observada en la tasa y dirección de una conducta puede ser un indicador de una posible reorganización conductual como hemos mostrado en este artículo. El uso de los modelos jerárquicos "por piezas" puede constituir una herramienta importante en la exploración de la relación entre conducta y procesos subyacentes. El ajuste de funciones de crecimiento para los períodos anterior y posterior a una discontinuidad

conductual (i.e., en los productos) permite comparar los correlatos del cambio en ambos periodos, esto es, las posibles fuentes de variación interindividual asociadas a cada uno de los periodos. Un cambio en el peso de las variables que explican la variación en las trayectorias interindividuales podría suge-

rir la existencia de un proceso subyacente de reorganización en la conducta. Así pues, la aproximación que se propone en este trabajo, basada en el empleo de modelos de regresión jerárquicos “por piezas”, puede contribuir a dilucidar la naturaleza de la relación entre conducta observable y procesos subyacentes.

Referencias

- Altmann, J. (1974). Observational study of behavior: sampling methods. *Behaviour*, 49, 227-267.
- Anguera, M. T. (1990). Metodología Observacional. En J. Arnau, M. T. Anguera, & J. Gómez (Eds.), *Metodología de la Investigación en Ciencias del Comportamiento* (pp. 125-236). Murcia: Universidad de Murcia.
- Bateson, P. P. G. (1978). How does Behavior Develop? En P.P.G. Bateson y P.H. Klopfer (Eds.), *Perspectives in Ethology vol. 3* (pp. 55-66). New York: Plenum.
- Bateson, P.P.G. (1981). Discontinuities in Development and Changes in the Organization of Play in Cats. En K. Immelmann, G. W. Barlow, L. Petrinovich and M. Main (Eds.), *Behavioral Development* (pp. 281-295). Cambridge: Cambridge University Press.
- Bereiter, C. (1963). Some persisting dilemmas in the measurement of change. En C. W. Harris. (1963) (Ed.), *Problems in measuring change*. Madison: University of Wisconsin Press.
- Bolby, J. (1951). *Maternal care and mental health*. World Health Organization.
- Bryk, A. S. y Raudenbush, S. W. (1987). Application of Hierarchical Linear Models to Assessing Change. *Psychological Bulletin*, 101, 147-158.
- Bryk, A. S. y Raudenbush, S. W. (1992). *Hierarchical Linear Models: applications and data analysis methods*. London: Sage Publications.
- Bryk, A. S., Raudenbush, S. W. y Congdon JR, R. T. (1996). *HLM: Hierarchical Linear and Nonlinear Modeling with the HLM/2L and HLM/3L Programs*. Chicago: Scientific Software international.
- Clarke A. D. B. y Clarke, A. M. (1976). “The formative years?” En A. M. Clarke & A. D. B. Clarke (Eds.), *Early experience*. Londres: Open Books.
- Dempster, A. P., Rubin, D. B. y Tsutakawa, R. K. (1981). Estimation in covariance components models. *Journal of the American Statistical Association*, 76, 341-353.
- Elston, R. C., y Grizzle, J. E. (1962). Estimation of the time response curves and their confidence bands. *Biometrics*, 18, 148-159.
- Emmerich, W. (1964). Continuity and stability in early social development. *Child Development*, 35, 31-332.
- Goldstein, H. (1987). Multilevel covariance component models. *Biometrika*, 74, 430, 431.
- Goldstein, H. (1995). *Multilevel Statistical model*, 2nd ed. London: Edward Arnold.
- Goldstein, H., Rasbash, J., Plewis, I., Draper, D., Browne, W., Yang, M., Woodhouse, G. y Healy, M. (1998). *A user's guide to MLwiN*. London: Multilevel models Project, Institute of education, University of London.
- Gottlieb, G. (1992). *Individual Development and Evolution: The Genesis of Novel Behavior*. Oxford, Oxford University Press.
- Hernández Lloreda, M. (2001). *Patrones de cambio en el sistema social madre-cría: una modelización del desarrollo desde la aproximación multinivel*. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid.
- Higley, J. D. and Suomi, S. J (1989). Temperamental reactivity in nonhuman primates. En G. A. Kohnstamm, J. E. Bates and M. K. Rothbart. (Eds.), *Temperament in Childhood* (pp. 153-167). New York: John Wiley & Sons.
- Hinde, R. A. y Bateson, P. P. G. (1984). Discontinuities Versus Continuities in Behavioural Development and the Neglect of Process. *International Journal of Behavioural Development*, 7, 129-143.
- Hrdy, S. B. (1999). *Mother nature: a history of mothers, infants, and natural selection*. New York: Pantheon.
- Kagan, J. (1976). Resilience and continuity in psychological development. En A. M. Clarke & A. D. B. Clarke (Eds.), *Early experience*. Londres: Open Books.
- Kagan, J. (1978). Continuity and Change in Human Development. En P. P. G. Bateson & P. H. Klopfer (Eds.), *Perspectives in Ethology, vol. 3: Social Behavior* (pp. 67-84). New York: Plenum.
- Kagan, J. (1992). Yesterday's premises, tomorrow's promises. *Developmental psychology*, 28, 990-997.
- Kagan, J. y Klein, R. E. (1973). Cross-cultural perspectives on early development. *American Psychologist*, 28, 947-961.
- Karmiloff-Smith, 1992. *Beyond modularity. A developmental perspective on cognitive Science*. Cambridge, MA: The M.I.T. press.
- Laird, N. M., y Ware, H. (1982). Random-effects models for longitudinal data. *Biometrics*, 38, 963-974.
- Lehner, P. N. (1996). *Handbook of Ethological Methods*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Longford, N. T. (1987). A fast scoring algorithm for maximum likelihood estimation in unbalanced mixed models with nested random effects. *Biometrika*, 74(4), 817-827.
- Lord, F.M. (1963). Elementary models for measuring change. En C. W. Harris. (1963) (Ed.). *Problems in measuring change*. Madison: University of Wisconsin Press.

- Martin, P., y Bateson, P. P. G. (1993). *Measuring Behaviour: An Introductory Guide*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Mason, W. M., Wong, G. M. y Entwistle, B. (1983). Contextual analysis through the multilevel linear model. En S. Leinhardt (Ed.), *Sociological methodology* (pp. 72-103). San Francisco: Jossey-Bass.
- Nicolson, N. A. (1991). Maternal behavior in human and nonhuman primates. En J.D. Loy y C.B. Peters (Eds.), *Understanding behavior: What primate studies tell us about human behavior*. (pp. 17-50). London: Oxford University Press.
- Nicolson, N. A. (1987). Infants and adult males. En B.B. Smuts, D.L. Cheney, R.M. Seyfarth, R.W. Wrangham y T.T. Struhsaker (Eds.), *Primate societies*. Chicago, IL, US: University of Chicago Press.
- Pryce, C.R. (1995). Determinants of Motherhood in Human & Nonhuman Primates. En C.R. Pryce, R.D. Martin & D. Skuse (Eds.), *Motherhood in Human and Nonhuman Primates. Biosocial Determinants* (pp. 1-15). Basel: Karger.
- Quera, V. (1993). Muestreo y registro observacional. En M. T. Anguera (Ed.), *Metodología observacional en la investigación psicológica, vol. 1. Fundamentación*. (pp. 241-329). Barcelona: PPU.
- Quera, V. (1997). Metodología observacional. En F. Peláez y J. Veà (Eds.), *Etología, Bases psicológicas de la conducta* (pp. 43-83). Madrid: Pirámide.
- Rosenberg, B. (1973). Linear regression with randomly dispersed parameters. *Biometrika*, 60, 61-75.
- Sackett, G. P., Sameroff, A. J., Cairns, R. B., y Suomi, S. J. (1981). Continuity in behavioral Development: Theoretical and Empirical Issues. En K. Immelmann, G. W. Barlow, L. Petrinowich & M. Main (Eds.), *Behavioral development* (pp. 23-57). London: Academic Press.
- Snijders, T. A. B. y Bosker, R. J. (1999). *Multilevel Analysis: an introduction to basic and advanced multilevel modeling*. Londres. Sage Publications.
- Sokal, R. R. y Rohlf, F. J. (1995). *Biometry*. New York: Freeman.
- Spitz, R. (1945). Hospitalism: an inquiry into the genesis of psychiatric conditions in early childhood. *Psychoanalytic Study of the Child*, 1, 53-74.
- Strenio, J. L. F., Weisberg H. I. y Bryk, A. S. (1983). Empirical bayes estimation of individual growth curve parameters and their relationship to covariates. *Biometrics*, 39, 71-86.
- Suomi, S. J. (1995). Influence of attachment theory on ethological studies of biobehavioral development in nonhuman primates. En S. Goldberg, R. Muir and J. Kerr (Eds.), *Attachment theory: social, developmental, and clinical perspectives* (pp. 185-201). New Jersey: Hillsdale.
- Suomi, S. J. (1997). Early determinants of behaviour: evidence from primate studies. *British Medical Bulletin*, 53, 170-184.
- Van der Leeden, R. (1998). *Multilevel analysis of longitudinal data*. En C. C. J., Bijleveld y Van der Kamp (Eds.), *Longitudinal data analysis*. (pp.268-315). London: Sage.

(Artículo recibido: 14-3-2002, aceptado: 25-3-2003)

