

EVALUACIÓN DEL SESGO EN LAS CLASIFICACIONES TAXONÓMICAS DEL ÍNDICE CEFÁLICO

Jorge A. Gómez-Valdés^a y Mirsha Quinto-Sánchez^b

^a*Departamento de Anatomía, Facultad de Medicina, Universidad Nacional Autónoma de México,
Posgrado en Antropología, Universidad Nacional Autónoma de México*

^b*Laboratorio de Osteología, Licenciatura en Antropología Física,
Escuela Nacional de Antropología e Historia, Unidad de Diversidad, Sistemática y Evolución,
Centro Nacional Patagónico-CONICET*

RESUMEN

El índice cefálico (IC) ha sido ampliamente utilizado para establecer categorías taxonómicas humanas. Aunque su significado biológico ha sido discutido, pocos trabajos han analizado la relación numérica del índice y sus clasificaciones. Aquí se aborda uno de los sesgos introducidos por la transformación en categorías de clase (braquicefalia, mesocefalia y dolicocefalia) de la distribución continua del IC, se analiza el efecto que tiene en la varianza poblacional y en la densidad de los datos. Por medio de la *Howells World Data Set* recurrimos al coeficiente de determinación como estimador de la cantidad de información que se conserva posterior a la transformación categórica del IC. Nuestros resultados indican que las clasificaciones del IC son un reducto de la variabilidad biológica craneal de las poblaciones humanas. La adopción de modelos no lineales hiperdimensionales y multivariados representa un mejor acercamiento a la covariación de las formas biológicas.

PALABRAS CLAVE: índice cefálico, taxonomía, antropometría.

ABSTRACT

The cephalic index (IC) has been widely used as one of the higher profile tools to establish human taxonomy categories. Although it has been discussed the biological sense of the cephalic index, few studies analyzed the mathematics relations of the ratio and their classifications. In this paper, we address one of the biases intro-

duced by the transformation into class categories (brachycephaly, mesocephaly and dolichocephaly) of the continuous distribution of IC, analyzing the effect in the population variance and the density of the data. Thus, we used Howells World Data Set for determination coefficient as an estimate of amount of information retained after processing IC categories. Our results indicate that the ratings of the IC are a haven of cranial biological variability of human populations. The adoption of hyperdimensional non-linear and multivariate models represents a better approach to the covariance of biological forms.

KEYWORDS: cephalic index, taxonomy, anthropometry.

INTRODUCCIÓN

El índice cefálico horizontal (IC) corresponde a la razón porcentual de la anchura respecto a la longitud cefálica en el plano horizontal. Fue definido a finales del siglo XIX por el destacado naturalista Anders Retzius (Stewart 1942) y ha sido ampliamente utilizado para caracterizar a las poblaciones humanas. En México, numerosos estudios cuentan con un abordaje de caracterización poblacional a partir de su distribución modal. De esta manera, es posible verificar la utilización de esta variable, en su modo categórico, en trabajos clásicos de craneología, como el presentado por Romano en 1953 sobre los restos subfósiles procedentes de Santa María Aztahuacán, y el meticuloso estudio de los cráneos recuperados de la cueva de La Candelaria en Coahuila, México (Romano 1956). Además, el IC y sus clasificaciones se han usado desde mediados de la década de los sesenta y entrada de los ochenta, donde predominaban la craneometría como técnica de estudio y los objetivos descriptivos. Se trataron poblaciones prehispánicas de diferentes horizontes temporales y de diversas regiones mesoamericanas (López-Alonso 1965; Medina 1965; Lagunas 1967; Comas 1968; Romano 1970; Wiercinski 1971; Gill 1971; Serrano 1972; Comas y Serrano 1973; Romano 1974; Comas *et al.* 1981; Salas 1982; Serrano y Ramos 1984; Garza 1985; Bautista 1986). Así también, en fechas recientes se reporta su utilización en la llamada caracterización poblacional (Garza y del Olmo 1990; Bautista y Pijoan 2003; Bautista y Ortega 2005; Terrazas y Benavente 2006).

Adicionalmente, el IC es fundamental en obstetricia, donde se usa para evaluar estados de desarrollo fetal (Chitty *et al* 1994; Hadlock *et al* 1981) y en pediatría para analizar el crecimiento (Meredith 1953).

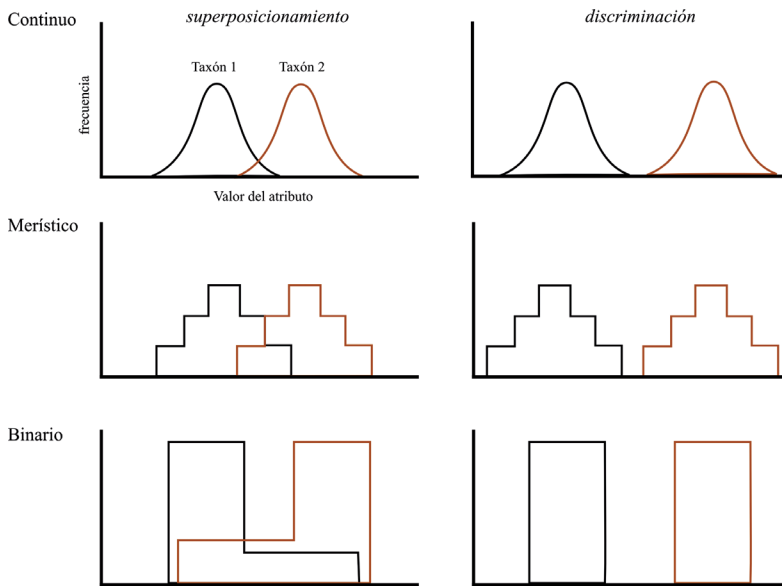


Figura 1. Patrones de la variación en los datos de variables continuas, merísticas y binarias. En el caso del IC la variable continua es llevada desde su característica distribución (continua) a una reducción en tres intervalos de confianza, perdiendo información de la variación biológica del neurocráneo (Kitching *et al.* 1998).

Aunque ha sido discutido el significado biológico del IC, pocos trabajos han analizado la naturaleza numérica de la transformación matemática, cuando es convertido en intervalos de clase (braquicráneo, mesocráneo, doliocráneo). Por ello, nuestro objetivo se centra en uno de los sesgos introducidos por la transformación en intervalos de clase de la distribución continua del IC, se analiza el efecto que tiene en la varianza poblacional y en la densidad de los datos. Es decir, se evalúa qué ocurre al transformar una variable continua en una variable categórica (discretización).

En principio, tendríamos que pensar que en dicha transformación se pierde información, pues un intervalo de clase reduce múltiples datos o casos en unas cuantas categorías discretas. En las transformaciones matemáticas de este tipo, se considera que cuando los intervalos de clase son suficientemente numerosos y las distancias entre intervalos son lo suficientemente cercanas, entonces la transformación de una variable continua a una categórica debería ser resistente y reflejar la misma tendencia que los datos originales (figura 1). No obstante, en este trabajo se considera que

las clases utilizadas en la transformación del IC son reductos artificiales y no son congruentes con los puntos de inflexión de la variabilidad humana.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se analizó la base de datos *Howells World Data Set* que contiene 2 504 cráneos humanos (46.2 % femeninos y 53.8 % masculinos) representativos de 28 poblaciones mundiales pertenecientes a las principales poblaciones humanas continentales (Europa, África, Australia, América y Asia). Los cráneos de esta base de datos corresponden a individuos adultos sin alteraciones patológicas o efectos de prácticas culturales de modificación, como podría ser la deformación cefálica intencional (Howells 1989, 1996) (disponible en <<http://konig.la.utk.edu/howells.htm>>). En este análisis no se aplicó ningún criterio de segmentación por sexo.

Con las medidas diámetro anteroposterior máximo (*GOL*) y transverso máximo (*XCB*) se construyó el índice cefálico (*IC*) (ecuación 1), y siguiendo las convenciones craneométricas, se efectuó la clasificación en intervalos de clase, según Comas (1966):

$$IC = \left(\frac{XCB}{GOL} \right) * 100$$

(ecuación 1)

Donde *XCB* = diámetro transverso máximo y *GOL* = diámetro anteroposterior máximo.

A partir de la razón *IC*, se transforman las siguientes categorías de clase:

Dolicocráneo	menor a 74.9
Mesocráneo	entre 75 y 79.9
Braquicráneo	80 y más

Para analizar el efecto que tiene transformar el IC en categorías, se utilizó el estimador coeficiente de determinación (R^2) (ecuación 2), que permite modelar linealmente la relación entre variables y explicar la proporción de la varianza de la variable dependiente, mediante un modelo de regresión lineal simple (RLS). Es decir, puede ser tomado en cuenta

como la retención de varianza por la variable dependiente debido a la inclusión de las variables regresoras.

Si representamos por σ^2 la varianza de la variable dependiente, y la varianza residual por σ_r^2 , el coeficiente de determinación se obtiene por la siguiente ecuación:

$$R^2 = \frac{scE}{scG} = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}$$

(ecuación 2)

Donde scE = suma de los cuadrados de los valores residuales y scG = suma de los cuadrados del modelo.

Es usual que el coeficiente R^2 sea interpretado como el porcentaje de variabilidad de la variable dependiente, que es explicada o que es debida a la recta de regresión (ecuación 3), en tanto que puede comprobarse que:

$$1 - R^2 = \frac{scE}{\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2}$$

(ecuación 3)

En un caso hipotético donde el ajuste es perfecto, la suma de cuadrados de los residuos (scE) toma el valor cero, por lo tanto $R^2 = 1$, es decir, como $scE < scG$, se verifica que $0 < R^2 < 1$.

Como la variable dependiente (clasificación del IC) es categórica, no es posible analizarla directamente en el modelo de RLS, por lo cual se ha utilizado su conversión en variables *dummys* (cuadro 1).

Cuadro 1
Variables *dummys*

	s1	s2	s3
braquicéfalo	1	0	0
mesocéfalo	0	1	0
dolicocéfalo	0	0	1

Incluir variables *dummys* en un modelo de regresión lineal es equivalente a estimar los modelos restringido y no restringido de regresión lineal por el método usual de mínimos cuadrados, pero para evitar la colinealidad múltiple perfecta se utilizan $k-1$ variables *dummys*.

RESULTADOS

La pérdida de información (evaluada por el coeficiente de determinación R^2) posterior a la clasificación del IC no ocurre de manera sistemática en las diferentes poblaciones de las principales agrupaciones humanas. Es decir, en algunas poblaciones se pierde mayor información que en otras. La transformación del índice cefálico en variable categórica representa una reducción arbitraria de la variable natural, perdiéndose entre 16 y 36 % de la información original. A partir de esto, se infiere un sesgo de tipo estricto por la transformación de la variable IC (continua) en categórica (clasificación del IC).

Este primer resultado permite pensar que el sesgo introducido tras la transformación del IC puede conducir a falsas interpretaciones al comparar los grupos siempre que la variable clasificatoria sea utilizada.

La formulación *a priori* del intervalo de clase para el establecimiento de las clasificaciones del IC viola los puntos de inflexión de la distribución intrapoblacional. Además, esta reducción crea asimetrías no naturales en el patrón de variación real de los datos (figura 2). Así, se observa que en África y Australia, de manera más marcada, la tendencia de las frecuencias está asimétricamente distribuida hacia un intervalo (dolico-cráneo); cuando en realidad el patrón de la varianza es diferente cuando se analiza su respectivo histograma.

DISCUSIÓN

La visión actual de la antropología biológica reconoce que existe una considerable variación entre los individuos que integran a las poblaciones; que alguna de esta variación biológica está distribuida entre los individuos de diferentes poblaciones y entre grupos de población más grandes; que los patrones de variación dentro y entre grupos han sido

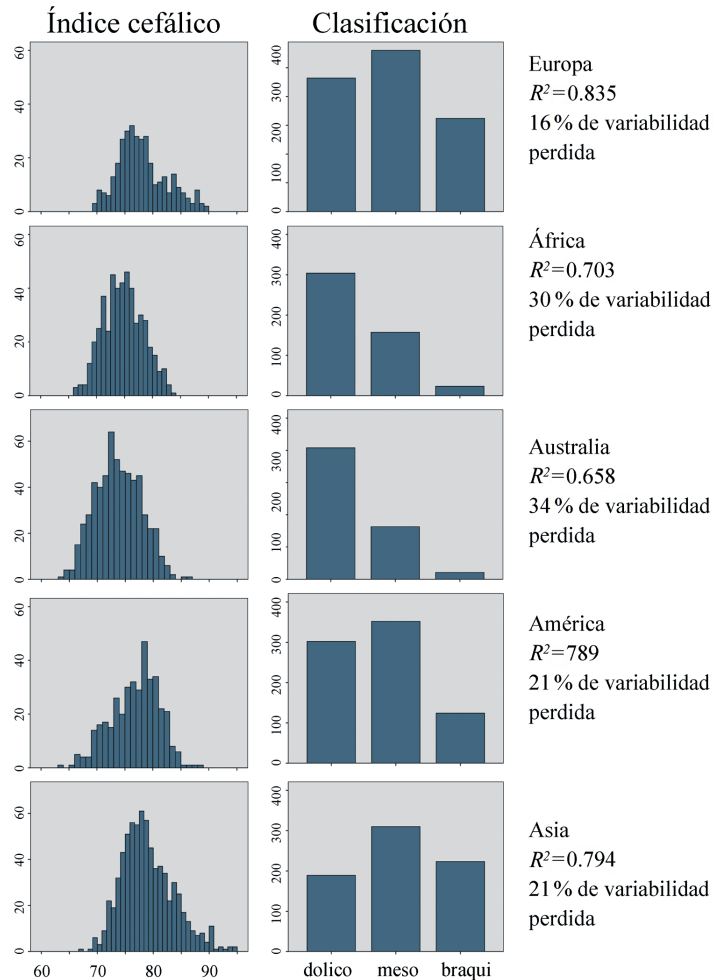


Figura 2. Histogramas (izquierda) de la dispersión de la variable IC, y representación de la densidad de los intervalos de clase de las clasificaciones: doliocráneo, mesocráneo y braquicráneo (derecha) para cada una de las agrupaciones humanas continentales.

Se incluyen los valores del coeficiente de determinación R^2 y el equivalente a la variabilidad que no es explicada por el modelo RLS, y que puede ser tomada en cuenta como variabilidad perdida posterior a la transformación o categorización del IC. Nótese la diferencia entre la asimetría de las distribuciones obtenidas mediante la discretización del IC (derecha,) respecto de su histograma (izquierda), principalmente en África y Australia.

considerablemente influenciados por la cultura, el idioma, la ecología y la geografía; y que la raza no es una forma precisa y productiva para describir la variación biológica humana (Edgar y Hunley 2009). El concepto de “raza” permite analizar la discretización de la variación humana en unos cuantos grupos que, bajo el prisma de sus defensores, son representativos. En este punto, surge el estudio de fenotipos complejos que analiza el problema de la adecuada segmentación de un fenómeno natural cualquiera (Lewontin 2000).

En la actualidad, la tendencia de la antropología biológica es alejarse cada vez más de los hábitos taxonomistas ortodoxos, para optar por una construcción de conceptos de variación en sentido hiperdimensional y multivariado. Lewontin (1972) contribuye con la idea de que la taxonomía racial clásica (aplicable al concepto de clasificación del IC) es un pobre reflejo de la diversidad humana. Como lo menciona Pucciarelli (2008), estas variables ofrecen “deslumbrantes distribuciones taxonómicas con nula información biológica”.

El debate de si el concepto “raza” es válido o no, depende del enfoque del área del conocimiento bioantropológico (Edgar y Hunley 2009). La inclusión, por ejemplo, de la teoría de la complejidad en el estudio de los sistemas no sólo entiende la variación como la aditividad de sus constituyentes elementales, también toma en cuenta la existencia de propiedades emergentes en ésta, es decir, la interacción dialéctica entre sus partes (Schlichting y Pigliucci 1998). En el ámbito forense, por ejemplo, la utilización de las categorías raciales es amplia y funcional; es útil tener indicadores, como el sexo, la edad y la raza, que acoten un dictamen en el ámbito legal, por lo tanto, migrar la visión de clasificación de modelos univariados a multivariados, en el sistema legal, parece un tanto platónico. Sin embargo, hay que destacar que aunque parece haber claras diferencias entre algunas clasificaciones raciales de los grupos humanos (por ejemplo, negros y blancos), éstas atienden a un patrón de historia evolutiva concreta (Ousley *et al.* 2009). Cuando se integran la morfología, la genética y la cultura en el estudio de la variación humana, los patrones que emergen nunca son simples ni pueden reducirse a unos cuantos grupos (figura 3).

De este modo, la clasificación tipologista de la humanidad puede ser considerada únicamente como una *folk taxonomy* (Berlin 1973; Berlin *et al.* 1973; Edgar 2009), es decir, clasificaciones de uso común en la cultura, pero sin una relación con la biología del grupo o individuo en estudio.

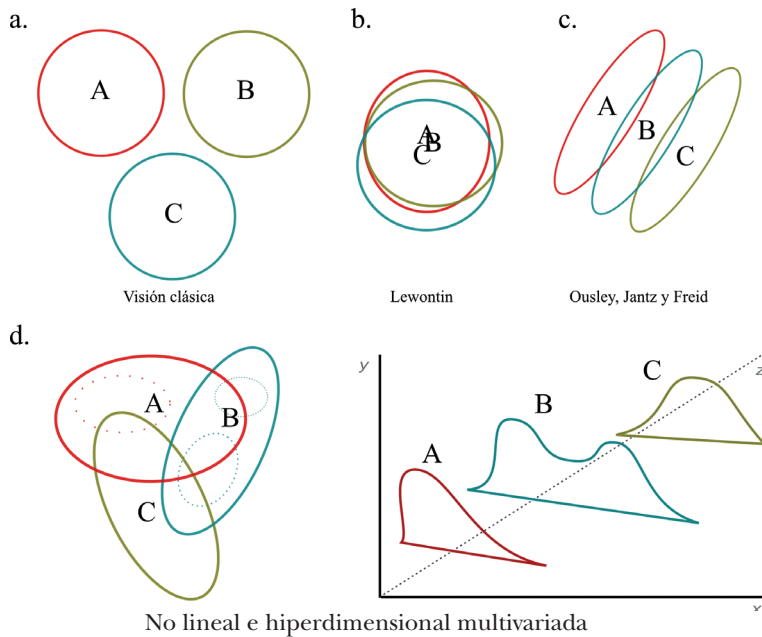


Figura 3. Cambio en la visión de la variación biológica humana. a) visión clásica, taxonomista y reduccionista (es clásica de la antropología física); b) visión de Lewontin en donde la variación de los individuos dentro de una población puede ser, incluso, mayor a la variación entre poblaciones; c) visión sintética de la postura de covariación de caracteres, pero reconociendo cierta diferencia entre las poblaciones o grupos; d) la que desarrolla este artículo: no lineal e hiperdimensional multivariada. El modelo reivindica la integración dialéctica de las propuestas por Lewontin-Ousley, aunque rechaza la tradicional linealidad de los datos. También reconoce que el fenotipo imperativamente deberá ser estudiado con modelos hiperdimensionales (por ejemplo, morfometría geométrica) y con el contraste de la estadística multivariante (Osley *et al.* 2009).

Estas taxonomías no constituyen una evidencia científica, a pesar de que se pueda justificar su utilidad.

Consideramos un punto de vista hiperdimensional en la aproximación del análisis de las estructuras orgánicas, como podría ser el dado por la morfometría geométrica, debido a que la utilización de distancias, ángulos, radios o índices implica la pérdida de la información de la forma biológica (Richtsmeier *et al.* 2002) (figura 4).

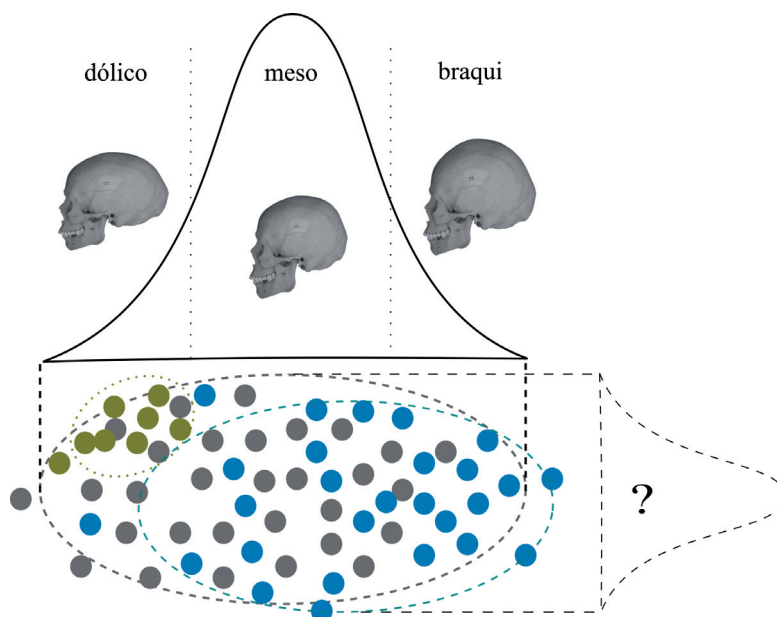


Figura 4. La utilización de distancias, ángulos, radios o índices implica la pérdida de información de la forma biológica, toda vez que la forma corresponde a la intersección conjunta del tamaño y las cualidades morfológicas. A su vez, los diversos valores, como el IC, están altamente relacionados con el tamaño, lo cual dificulta establecer homologías entre distancias lineales. Nótese que las posibles subestructuras poblacionales (líneas discontinuas azul y verde) de ninguna manera pueden ser inferidas desde un acercamiento clásico. Además, la información que contribuye a la variación del neurocráneo se encuentra en otros ejes de variación (distribución en línea discontinua a la derecha; véase el símbolo de interrogación). Las clasificaciones univariadas llevan inequívocamente a la pérdida de información del fenómeno estudiado.

La revolución de la morfometría geométrica ha transformado el análisis de las formas biológicas en el estudio continuo del cambio en la forma y el tamaño, y representan, junto con la estadística multivariante, un enfoque más integral dentro de la bioantropología (Slice 2005). El concepto más importante de transformación de datos en el análisis fenotípico es que los datos resultantes del estudio continuo de la forma biológica implican extraer información de los datos morfométricos, es decir, requieren operaciones matemáticas en lugar de conceptos arraigados en la intuición biológica (Zelditch *et al.* 2004). Por ello, el análisis mediante morfometría

geométrica propone la inclusión de un modelo no lineal (Prigogine 1998), hiperdimensional (Slice 2005) y multivariado (Blackith y Reyment 1971) en el estudio de la covariación de la forma (Bookstein 1998). La no linealidad en el pensamiento de la variación humana reconoce la potencialidad de la inclusión de variables de diversos tipos, de variantes o características emergentes y la dinámica genético-poblacional continua (figura 3d).

Una de las más importantes discusiones que se puede desarrollar a partir de lo ya planteado es la validez de la discretización del índice cefálico. Hay que señalar que en la clasificación original de Anders Retzius (1852), el IC tenía sólo dos grupos: dolicocefalos y braquicefalos (Stewart 1942). La versión incluida en *Lehrbuch der Anthropologie* (Martin 1914) contiene siete intervalos: *Ultrabrachystenocephaly*, *Hyperbrachystenocephaly*, *Brachystenocephaly*, *Orthostenoccephaly*, *Hypsistenocephaly*, *Hyperhypsistenocephaly* y *Ultrahypsistenocephaly* (Stewart 1942). En la actualidad se aplican intervalos de tres o cinco clasificaciones (Campillo y Subirá 2004; Krenzer 2006; Comas 1966). La discretización de una variable continua implica pérdida de la información sobre la variación de ese carácter, como los resultados de este trabajo lo demuestran. Este aspecto ha sido ampliamente discutido en la cladística (Rae 1998), donde los datos morfométricos tienen que ser discretizados para su análisis, aunque este paso, como para el caso del IC, descarte la naturaleza continua de los rasgos de forma (González-José *et al.* 2008). Además, los fenotipos deben ser estudiados de manera multivariante y no someter su variación a “ser” univariantes (González-José *et al.* 2008). Falconer y Mackay (2001) argumentan que el número de caracteres métricos que podrían estudiarse en cualquier organismo superior es casi infinito. Cualquier atributo que varíe de forma continua y que pueda medirse podría ser estudiado desde una óptica genética cuantitativa y/o de poblaciones.

CONSIDERACIONES FINALES

En antropología biológica, a diferencia de lo que ocurriría en otras disciplinas, como la sistemática filogenética y cladística, se han realizado pocos trabajos de corte metodológico que permitan conocer la naturaleza de transformaciones matemáticas de las variables de estudio. A pesar de ello, existe buena cantidad de argumentación teórica y empírica que

permite verificar la inaplicabilidad de las clasificaciones humanas en categorías raciales.

En este trabajo hemos verificado que, particularmente, las clasificaciones del IC generan grandes sesgos e interpretamos que esto se debe a la pérdida de información de la variable continua, debido a su transformación en categorías. Frente a ello, algunos autores considerarían la necesidad de crear mayor cantidad de intervalos de clase, para continuar clasificando cualidades morfológicas y, a su vez, poder seguir estableciendo características poblacionales. Como lo ha sugerido Guisepe Sergi en *Mediterranean Race* (1901), es necesario modificar de manera más “compleja” las clasificaciones del IC, de tal manera que reflejen mejor las separaciones de las razas humanas.

Sokal y Rohlf (1987) señalan que siempre que se cuenten con suficientes intervalos de clase y que, a su vez, las diferencias entre éstas sean lo suficientemente pequeñas, una variable categórica tiende a demostrar una distribución semejante a la original. No obstante, en este trabajo se ha mostrado que ni aun cuando se acumula la variabilidad morfológica craneal representativa de las poblaciones humanas principales (2 504 cráneos comprendidos en la *Howells World Data Set*), la clasificación del IC representa en grado alguno la diversidad craneal humana y, por lo tanto, se entiende que ello oscurece el entendimiento de los procesos evolutivos que la han originado. Esto último, en el contexto de la genética cuantitativa, fenomica y filogenética, representa un sesgo matemático grave.

Quizás lo realmente importante no sea la manera en que se hace sensible o medible la variabilidad biológica humana, sino las preguntas de investigación que llevan a diversos investigadores a una búsqueda de “categorías” humanas, actualmente llamadas características físicas (caracterización poblacional, caracterización craneana, tipos morfológicos, etcétera).

Consideramos que un abordaje del estudio de las formas orgánicas basado en la retención de la información de la forma –como en el caso de la morfometría geométrica–, donde se propone la inclusión de un modelo no lineal, hiperdimensional y multivariado en el estudio de la covariación de la forma, permitiría dejar de lado los abordajes biotipologistas y fomentar la adopción de un paradigma biológico evolucionista.

REFERENCIAS

- BAUTISTA, J.
1986 *Los antiguos pobladores de Coyoacán, D. F. Estudio osteológico cultural*, tesis, Escuela Nacional de Antropología e Historia, México.
- BAUTISTA, J. Y A. ORTEGA
2005 *Catálogo de los cráneos de la Colección Solórzano*, Instituto Nacional de Antropología e Historia (Colección Científica, 483), México.
- BAUTISTA, J. Y C. PIJOAN
2003 Estudio métrico comparativo entre cráneos mexicanos (precerámicos y de principios del siglo XX), *Antropología y Biodiversidad*, I: 50-58.
- BERLIN, B.
1973 Folk systematics in relation to biological classification and nomenclature, *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4: 259-271.
- BERLIN, B., D. E. BREEDLOVE Y P. H. RAVEN
1973 General principles of classification and nomenclature in Folk Biology, *American Anthropologist*, 75 (1): 214-242.
- BLACKITH, R. E. Y R. A. REYMENT
1971 *Multivariate morphometrics*, Academic Press, Londres.
- BOOKSTEIN, F.
1998 A hundred years of morphometrics, *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae*, 44: 7-59.
- CAMPILLO, D. Y M. E. SUBIRÁ
2004 *Antropología física para arqueólogos*, Ariel (Colección Ariel Prehistoria), Barcelona.
- CHITTY, L. S., D. G. ALTMAN, A. HENDERSON Y S. CAMPBELL
1994 Charts of fetal size: 2. Head measurements, *BJOG: An International Journal of Obstetrics & Gynaecology*, 101: 35-43.

- COMAS, J.
1966 *Manual de Antropología Física*, Sección de Antropología, Instituto de Investigaciones Históricas, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
1968 Los restos óseos mexicanos en el Museo del Hombre, *Anales de Antropología*, 5: 57-74.
- COMAS, J. Y C. SERRANO
1973 Craneología cora-huichol, *Anales de Antropología*, 10: 311-318.
- COMAS, J., C. SERRANO Y T. JAÉN
1981 Craneología de Jalapasco, Puebla, *Anales de Antropología*, 13: 229-249.
- EDGAR, H. J. H.
2009 Biohistorical approaches to “race” in the United States: biological distances among African Americans, European Americans, and their ancestors, *American Journal of Physical Anthropology*, 139: 58-67.
- EDGAR, H. J. H. Y K. L. HUNLEY
2009 Race reconciled?: How biological anthropologists view human variation, *American Journal of Physical Anthropology*, 139: 1-4.
- FALCONER, D. Y C. T. MACKAY
2001 *Introducción a la genética cuantitativa*, Acribia, Zaragoza.
- GARZA, I.
1985 *Estudio craneométrico de una población del Distrito Federal (Tlatelolco)*, tesis, Escuela Nacional de Antropología e Historia, México.
- GARZA, I. Y J. L. DEL OLMO
1990 Valoración de las técnicas métrica y no métrica en estudios de afinidades biológicas en poblaciones del pasado, *Estudios de Antropología Biológica*, V: 133-142.
- GILL, G. W.
1971 *The Prehistoric Inhabitants of northern coastal Nayarit: Skeletal analysis y description of burials*, tesis, University of Kansas, Lawrence.

- GONZÁLEZ-JOSÉ R., I. ESCARPA, W. A. NEVES, R. CÚNEO Y H. M. PUCCIARELLI.
2008 Cladistic analysis of continuous modularized traits provides phylogenetic signals in Homo evolution, *Nature*, 453: 775-778.
- GOULD, S. J.
1996 *The mismeasure of Man*, W. W. Norton & Company, Nueva York.
- HADLOCK, F. P., R. L. DETER, R. J. CARPENTER Y S. K. PARK
1981 Estimating fetal age: effect of head shape on BPD, *American Journal of Roentgenology*, 137 (1): 83-85.
- HOWELLS, W. W.
1989 *Skull shapes and the map. Craniometric analyses in the dispersion of modern Homo*, Peabody Museum (Papers of the Peabody Museum of Archaeology and Ethnology, 79), Cambridge.
1996 Howells' craniometric data on the web, *American Journal of Physical Anthropology*, 101: 441-442.
- KITCHING, I. J., P. L. FOREY, C. J. HUMPHRIES Y D. M. WILLIAM
1998 *Cladistics: The theory and practice of parsimony analysis*, Oxford University Press, Nueva York.
- KRENZER, U.
2006 *Compendio de métodos antropológico-forenses para la reconstrucción del perfil osteo-biológico*, tomo 1, Osteometría, Centro de Análisis Forense y Ciencias Aplicadas, Guatemala.
- LAGUNAS, Z.
1967 *Estudio métrico y morfológico de mandíbulas prehispánicas de México*, tesis, Escuela Nacional de Antropología e Historia, México.
- LEWONTIN, R. C.
1972 The apportionment of human diversity, *Evolutionary Biology*, 6: 381-398.
2000 *Genes, organismo y ambiente. Las relaciones de causa y efecto en biología*, Gedisa, Barcelona.
- LÓPEZ-ALONSO, S.
1965 Cinco cráneos procedentes de Tanquian, San Luis Potosí, *Anales del Instituto Nacional de Antropología e Historia*, 17: 181-194.

MEDINA, J. A.

- 1965 *Estudio craneológico de un sitio del Preclásico, México*, tesis, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

MEREDITH, H. V.

- 1953 Growth in head width during the first twelve years of life, *Pediatrics*, 12 (1): 411-429.

OUSLEY, S., R. JANTZ Y D. FREID

- 2009 Understanding race and human variation: Why forensic anthropologists are good at identifying race, *American Journal of Physical Anthropology*, 139: 68-76.

PRIGOGINE, I.

- 1988 *El nacimiento del tiempo*, Tusquets (Metatemas, 23), Barcelona.

PUCCIARELLI, H. M.

- 2008 *Evolución y diversificación biológica humana desde la perspectiva craneofuncional*, Instituto de Investigaciones Antropológicas, Universidad Nacional Autónoma de México-Escuela Nacional de Antropología e Historia, México.

RAE, T.

- 1998 The logical basis for the use of continuous characters in phylogenetic systematics, *Cladistics*, 14 (3): 221-228.

RICHTSMEIER, J. T., V. B. DE LEON Y S. R. LELE

- 2002 The promise of Geometric Morphometrics, *Yearbook of Physical Anthropology*, 45: 68-91.

ROMANO, A.

- 1953 Nota preliminar sobre los restos humanos subfósiles de Santa María Aztahuacan, D. F., *Anales del Instituto Nacional de Antropología e Historia*, 7: 65-74.
- 1956 *Los restos óseos humanos de la cueva de La Candelaria, Coahuila. Craneología*, tesis, Instituto Nacional de Antropología e Historia, México.
- 1970 Preceramic Human remains, *Handbook of Middle American Indians*, 9: 22-23.

- 1974 Restos óseos precerámicos de México, J. Romero (ed.), *Antropología física época prehispánica. México: Panorama histórico y cultural*, Instituto Nacional de Antropología e Historia, México: 197-227.
- SALAS, M. E.
1982 *La población de México-Tenochtitlan. Estudio de osteología antropológica*, Instituto Nacional de Antropología e Historia (Colección Científica, 126), México.
- SCHLICHTING, C. D. Y M. PIGLIUCCI
1998 *Phenotypic evolution. A reaction norm perspective*, Sinauer Associates, Sunderland.
- SERGI, G.
1901 *The Mediterranean Race: A study of the origin of European Peoples*, Walter Scott, Charles Scribner's Sons, Londres.
- SERRANO, C.
1972 Una serie de cráneos procedentes de Campeche, México, *Anales de Antropología*, 9: 175-188.
- SERRANO, C. Y R. RAMOS
1984 *Perfil bioantropológico de la población prehispánica de San Luis Potosí*, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- SLICE, D.
2005 *Modern Morphometrics for Physical Anthropology*, Kluwer Academic/Plenum Publishers, Nueva York.
- SOKAL, R. R. Y F. J. ROHLF
1987 *Introduction to Biostatistics*, Freeman & Co., San Francisco.
- STEWART, T. D.
1942 Anthropometric Nomenclature II. The indices of head height, *American Journal of Physical Anthropology*, 29: 23-39.
- TERRAZAS, A. Y M. BENAVENTE
2006 Estudio preliminar de tres cráneos tempranos procedentes de cuevas sumergidas de la costa este de Quintana Roo, J. Jiménez-López, O. Polaco, G. Martínez y R. Hernández (eds.), *Segundo Simposio Internacional*

El Hombre Temprano en América, Consejo Nacional para la Cultura y las Artes-Instituto Nacional de Antropología e Historia, México: 189-197.

WIERCINSKI, A.

1971 Afinidades raciales de algunas poblaciones antiguas de México, *Anales del Instituto Nacional de Antropología e Historia*, 2: 123-143.

ZELDITCH, M. L., D. L. SWIDERSKI, H. D. SHEETS Y W. L. FINK

2004 *Geometric Morphometric for biologists: A primer*, Elsevier Academic Press, Nueva York.