

Universidad de Chile
FACSO
Departamento de Antropología
Mención Antropología Física

Deformación Intencional del Cráneo en los Oasis de San Pedro de Atacama: un Enfoque Morfométrico Geométrico

Autor: Thomas Püschel Tutor: Germán Manríquez

Memoria para optar al Título de Antropólogo Físico

28 de Diciembre de 2012

Resumen

La modificación intencional del cráneo (DIC) es el proceso de modificación corporal del patrón de crecimiento y desarrollo craneal a través de la utilización en los primeros de vida post-natal de aparatos deformadores usados con distinta intensidad. La consecuencia de dicha práctica cultural consiste en la modificación en magnitud y/o dirección de los vectores normales del crecimiento del neurocráneo. Esta es una práctica cultural ampliamente distribuida tanto geográfica como temporalmente, con alta representación en poblaciones prehistóricas sudamericanas. Las poblaciones prehistóricas de San Pedro de Atacama no son la excepción, presentando a lo largo de su secuencia cultural, a numerosos individuos con dicha modificación corporal. Se ha sugerido que los cambios en frecuencia y/o estilo deformatario, serían producto de interacciones con grupos foráneos y/o cambios demográficos. La presente investigación tuvo por objeto el análisis cuantitativo del patrón de variación craneal en las poblaciones de SPA a lo largo de su secuencia cultural. Se deseó poner a prueba la hipótesis de que existe un patrón morfológico similar en la DIC presente en las poblaciones de SPA y los grupos de otras regiones andinas, durante los momentos de la prehistoria atacameña en los que tradicionalmente se ha propuesto contactos interregionales. Se analizaron 280 fotografías laterales de cráneos provenientes de SPA, Arica y el Altiplano mediante las técnicas de la Morfometría Geométrica en 2D. Se comparó a los individuos por período y origen geográfico respectivamente, con la finalidad de intentar establecer si las posibles similitudes morfológicas se deben o no a contactos entre distintos grupos, o por si el contrario corresponden a tradiciones locales. Por otro lado, se realizaron análisis similares con muestras de cráneos no-deformados de los mismos sitios, para así tener una contraparte no afectada por la deformación. Los resultados aquí expuestos apoyan la hipótesis que considera a la ACD de SPA como una tradición local.

Palabras Clave: Deformación Intencional del Cráneo (DIC), San Pedro de Atacama (SPA), Bioarqueología, Morfometría Geométrica.

Índice general

1. Introducción y Antecedentes	9
1.1. Introducción	9
1.1.1. Modificación Corporal y DIC	11
1.1.2. DIC y los Andes Centro-Sur	13
1.2. Antecedentes	16
1.2.1. La Deformación Intencional del Cráneo	16
1.2.2. Clasificación de la Deformación Intencional del Cráneo	17
1.2.3. Aspectos Biológicos de la Deformación Intencional del Cráneo	21
1.2.4. Aspectos Socioculturales de la Deformación Intencional del Cráneo	26
1.3. Enfoques Teórico-Metodológicos utilizados en el estudio de la variación morfológica generada por la DIC	29
1.3.1. Enfoque Descriptivo	29
1.3.2. Enfoque morfométrico lineal de caracteres métricos y no métricos:	30
1.3.3. Enfoque Morfométrico Geométrico	32
1.4. Prehistoria de San Pedro de Atacama	33
1.4.1. Contexto Geográfico y Climático	34
1.4.2. Secuencia Cronológica	36
1.4.3. Interacción y Movilidad en los Andes Centro-Sur	46
1.5. Bioarqueología	47
1.5.1. DIC y Morfometría	49
2. Problema de Estudio	51
2.1. Planteamiento del Problema	51
2.1.1. Relevancia	53
2.1.2. Hipótesis	54
2.1.3. Objetivos	55

2.2. Diseño de Investigación	55
2.2.1. Muestra	55
2.3. Método	58
2.3.1. Obtención del dato primario	58
2.3.2. Análisis Estadísticos	60
2.3.3. Pruebas de Confianza	65
2.3.4. Limitaciones	67
3. Resultados, Discusión y Conclusión	68
3.1. Resultados y Discusión	68
3.1.1. Estimación de Sexo y DIC	68
3.1.2. Generación de un Mapa de Hitos Homólogos	68
3.1.3. Comparación Sincrónica y Diacrónica del Patrón de DIC en SPA	69
3.1.4. Análisis de Modularidad e Integración Morfológica	73
3.1.5. Revalorización del Patrimonio	79
3.2. Conclusión	79
4. Anexos	83
4.1. Morfometría Geométrica	83
4.1.1. Introducción al Análisis Morfométrico	83
4.1.2. Definiciones:	85
4.1.3. Métodos de Estandarización Morfométrica para el Análisis de la Forma	95
4.1.4. Espacios Morfométricos	98
4.1.5. Visualización de los cambios de la Forma	101

Índice de figuras

1.1. Mapa que muestra las regiones donde se ha practicado la DIC (Gerszten y Gerszten 1995).	10
1.2. Mapa de América mostrando las áreas de distribución de los distintos métodos de DIC (Vyslozil y Slavicek 2000). De superior a inferior: Deformación circular; Deformación tabular erecta; Deformación tabular oblicua; Deformación mixta.	14
1.3. Tipos deformatorios a) Tabular y b) Anular (Antón 1989).	15
1.4. Autores clásicos sobre la DIC y número de clasificaciones establecido.	20
1.5. Francés del siglo XIX con DIC (Foville 1834).	22
1.6. Peruanos del siglo XX con DIC (Tommaseo y Drusini 1984).	23
1.7. Transformación de Grillas Cartesianas (D'Arcy Thompson 1917). Cráneo del Eoceno de Hyracotherium A) transformado al cráneo moderno de Equus (B). Nótese la representación hipotética de los estados intermedios de la transformación a través de interpolaciones lineales (C).	32
1.8. Mapa de los Andes Centro-Sur, con las posiciones de San Pedro de Atacama y Tiwanaku (Modificado de Torres-Rouff 2008).	36
1.9. Periodificación de los Oasis de SPA. (* Fases no consideradas en la presente tesis).	38
1.10. Parafernalia Alucinógena con Iconografía Tiwanaku (Tableta) e Iconografía Local (Tubo de inhalación) (Torres-Rouff 2008).	41
1.11. Ayllus de San Pedro de Atacama (Le Paige 1963).	44
2.1. Muestra utilizada en la presente tesis.	58
2.2. Diagrama de Flujo estándar de la Morfometría Geométrica	59
2.3. Mapa de Homologías utilizado en la presente tesis (* Pseudohito).	61
2.4. Mapa de Hitos <i>in situ</i> . Blanco: Neurocráneo; Negro: Esplacnocráneo.	62

3.1. Análisis Canónico Diacrónico entre diferentes poblaciones de SPA de los periodos Formativo, Medio e Intermedio Tardío. ▼: Intermedio Tardío; *: Medio; ■: Formativo. La figura muestra dos ejes canónicos que dan cuenta del 83.04 % y 16.96 % de la varianza inter-grupal. Las distancias de Mahalanobis fueron altamente significativas tras 10,000 rondas de permutación ($p < 0.0001$). Una comparación pareada de Hotelling T2 con corrección de Bonferroni confirmaron este resultado, mostrando diferencias significativas entre grupos ($p < 0.0001$), con la excepción de las comparaciones con el periodo Formativo, probablemente debido a su pequeño tamaño muestral.	70
3.2. Análisis Canónico Sincrónico entre diferentes poblaciones del Período Medio de la Región Andina. ▼: San Pedro de Atacama; *: Arica; ■: Altiplano Boliviano. La figura muestra dos ejes canónicos que dan cuenta del 73.37 % y 23.63 % de la varianza inter-grupal respectivamente. Las distancias de Mahalanobis fueron altamente significativas tras 10,000 rondas de permutación. Comparaciones pareadas de Hotelling T2 con corrección de Bonferroni confirman este resultado mostrando diferencias significativas entre los grupos ($p < 0.0001$).	71
3.3. Distribución frecuencia de los coeficientes RV para las dos particiones modulares propuestas. La flecha muestra el coeficiente RV de la hipótesis modular definida a priori, que en este caso coincide con la partición modular con el coeficiente RV más bajo ($RV=0.388153$).	74
3.4. Gráfico de correlación para el PLS1 para los dos módulos (neurocráneo y esplacnocráneo) en Individuos No-deformados.	78
3.5. Gráfico de correlación para el PLS1 para los dos módulos (neurocráneo y esplacnocráneo) en Individuos Deformados.	79
4.1. Las operaciones que no alteran la forma. a) Traslación, b) Rotación y c) Escalamiento. Zelditch et al 2004.	86
4.2. Sección transversal de un cráneo humano, mostrando los distintos tipos de datos morfométrico e.g. distancia (ba-n), contorno (b-n), ángulo ($\theta(n-ba-pr)$) y coordenadas: b.—bregma, n.—nasion, pr.—prosthion, ba.—basion, o.—opisthion, i.—inion, l.—lambda. (Slice 2005).	88
4.3. Pasos de la Superposición de Procrustes: Traslación a un centroide común, escalamiento al mismo tamaño de centroide y rotación para minimizar la suma de distancias cuadradas entre los hitos correspondientes. http://www.virtual-anthropology.com/virtual-anthropology/geometric-morphometrics/procrustes-superimposition	97
4.4. Espacio de la Forma y su proyección a un plano tangente (Toro-Ibacache et al. 2010).	100
4.5. Grillas de transformación de <i>Homo sapiens</i> a <i>Pan troglodytes</i> (Thompson 1917).	101

Índice de cuadros

3.1. Valores singulares y correlaciones pareadas de puntajes PLS entre bloques para individuos no-deformados. Valores significativos en negrita (1000 rondas de permutación).	75
3.2. Valores singulares y correlaciones pareadas de puntajes PLS entre bloques para individuos deformados. Valores significativos en negrita (1000 rondas de permutación).	76

-Every man is the builder of a temple, called his body, to the god he worships, after a style purely his own, nor can he get off by hammering marble instead. We are all sculptors and painters, and our material is our own flesh and blood and bones. Any nobleness begins at once to refine a man's features, any meanness or sensuality to imbrute them- Henry David Thoreau, Walden (1862).

Agradecimientos

Sin dudas todo agradecimiento es incompleto, por una parte la memoria es frágil y siempre se olvida de manera injusta a alguien. Por otra parte, es difícil expresar en limitadas palabras el apoyo muchas veces incondicional de algunas personas. No obstante el ejercicio es necesario para notar que la elaboración de una tesis, nunca es un trabajo netamente individual, por más que el autor sea tan sólo uno. Excusándome ya de antemano, por las limitaciones y parcialidades inherentes a estos agradecimientos, me dispondré a enumerar a aquellos que han aportado de distinta manera al desarrollo de este trabajo.

A mi familia, mis papás y hermanos, por su eterna comprensión, apoyo y cariño. Por el interés mostrado en un tema tal vez en extremo arcano a sus predilecciones. Sepan que aunque me encuentre lejos, siempre estarán conmigo.

Mención especial a las increíbles conversaciones con mis hermanos (que no son más que la continuación de nuestros juegos de la infancia), que transitan desde lo mundano a lo cósmico, pasando a través de historias de androides poéticos que viajan por infinitos múltiples como héroes enamorados.

A Germán Manríquez, maestro, compañero y amigo (y en esta ocasión tutor), por la amistad y sabiduría desarrollada a través de los años, viajes y proyectos. Gracias por mostrarme que la ciencia es más que pasar el día en un laboratorio, sino que un conocer compulsivo, mundial y sistemático de la realidad. Gracias por tu amistad colega, tu sabiduría y excelentes conversaciones. Gracias por la confianza depositada, y las oportunidades entregadas. Seguiremos trabajando juntos, hasta que te consiga un buen escritorio donde podrás de una vez por todas releer a los clásicos rusos, escribir sobre historia de la ciencia, y por qué no, enloquecer un poco.

A Juan Carlos Salinas, también maestro, compañero y amigo. Gracias por tu sabiduría de un Buda barbado y alegría desbordante, por hacer reír a todo el equipo en los momentos más tediosos. Gracias por las “perlas” de sabiduría entregadas en los momentos más precisos durante nuestros viajes iniciáticos.

A Sergio Flores, maestro y amigo, por tu genialidad y el método enseñado.

A Eugenio Aspillaga por la sabiduría de un Gran Maestro Jedi.

A los profes de la mención de Antropología Física en general, por su motivación y entrega.

A Alvaro Besoain por su alegría y “ñoñez” absoluta, por su apoyo en los terrenos y clases donde compartimos.

A Nicolas Lira por su apoyo y amistad durante los largos viajes. Gracias por enseñarme París y explicarme que es una canoa monoxila.

A Valentina Figueroa por sus consejos acerca de la arqueología del Norte chileno, y por

deslumbrarme con la intensidad de su pasión por el pasado.

A Vivi Toro por su trabajo previo acerca de la DIC y por el apoyo en mi adaptación a UK.

A la gente del Museo Arqueológico R.P. Gustavo Le Paige. Por su apoyo y consejos siempre útiles. Por cuestionar lo obvio, y entregar una visión externa. De verdad muchas gracias Christina Torres-Rouff, Mark Hubbe, Macarena Oviedo y al equipo del área de conservación. Especial mención para mi asere Arturo Torres; gracias por darle más alegría al desierto.

A toda la gente de la meción de Antropología Física, y en especial a mis compañeros de generación. Tanto horas-hueso juntos nos convirtieron en una pequeña familia, con todo lo bueno y complicado que eso puede ser. Sepan que lo pase muy bien con ustedes.

A Ana María Bucchi, por ser mi compañera de vida en todo este período. Gracias por haber aceptado caminar de la mano conmigo, por cuestionar mi suposiciones y pensar diferente. Gracias por permitirme ser tu compañero y compartir conmigo tus sonrisas.

Capítulo 1

Introducción y Antecedentes

-Die künstliche Deformirung des menschlichen Schädels ist bekanntlich eine über einen sehr grossen Theil der Erde hin geübte Unsitte, welche erst allmählich vor der in die tiefsten Thäler und bis an die entlegensten Inseln dringenden Civilisation verschwindet, wenn auch vielleicht die Zeit nicht fern ist, in welcher nur noch die in anthropologischen Museen aufbewahrten Schädel und die den Gegenstand behandelnden Schriften der Reisenden, der Ethnographen, der Aerzte, Anatomen und Anthropologen an diesen merkwürdigen Gebrauch erinnern werden- A.B. Meyer, *Über Künstlich Deformirte Schädel von Bórneo und Mindanáó* (1881).

1.1. Introducción

La deformación intencional del cráneo (de aquí en adelante DIC) consiste en el proceso de modificación corporal del patrón de crecimiento y desarrollo craneal, mediante la utilización en los primeros de vida post-natal de aparatos deformadores usados con distinta intensidad. Esta práctica presenta un origen ancestral, con posibles evidencias en nuestro linaje hace 45.000 años A.P. en individuos neanderthal (Trinkaus 1982), y se encuentra además en todos los continentes habitados (Dingwall 1931; Ortner 2003) (Fig. 1.1).

Existen diversas hipótesis acerca de por qué los seres humanos de distintos lugares y épocas se deformaban el cráneo, sin embargo ninguna es del todo concluyente. En la literatura antropológica, arqueológica y etnográfica son múltiples las explicaciones que se le han dado a este fenómeno, siendo quizás una de las mejor sustentadas la que entiende a la DIC como un símbolo de identidad cultural o grupal (Dingwall 1931; Torres-Rouff 2002). Desde esta perspectiva, el hecho de que la DIC sea una modificación inalterable tras su producción, junto con el hecho de que el individuo



Figura 1.1: Mapa que muestra las regiones donde se ha practicado la DIC (Gerszten y Gerszten 1995).

es sometido a esta práctica prontamente tras su nacimiento, sugieren que era un símbolo de adscripción a un grupo por derecho de nacimiento, y no por estatus adquirido. Un individuo que fue sometido a la DIC, se ha visto a sí mismo durante toda su vida con la deformación que le practicaron en la niñez, constituyendo por tanto parte de su identidad individual. Del mismo modo, el hecho de que el individuo deformado no pueda decidir si desea o no esta modificación corporal, sino que más bien sea escogida por sus progenitores u otro miembro de su comunidad, hace pensar que se intentaba reflejar en el cuerpo alterado un símbolo grupal. Ahora bien, se ha observado que durante la prehistoria sudamericana, fue la zona andina uno de los lugares donde se realizaba la DIC con mayor frecuencia (Pérez 2006). Esta práctica es evidenciable ya en el Arcaico de las zonas costeras del Sur del Perú y Norte de Chile, y en el Formativo de regiones como San Pedro de Atacama (de aquí en adelante SPA). En este último lugar, los estudios muestran que la frecuencia de población deformada se mantuvo más o menos estable durante la prehistoria (ca. 50 %), no obstante se ha sugerido que los cambios en frecuencia y/o estilo deformatorio, serían producto de interacciones con grupos foráneos y consecuentes cambios demográficos (e.g. migración o flujo génico) (Varela 1997; Varela y Cocilovo 2000; Torres-Rouff 2002).

En SPA múltiples contextos arqueológicos presentan objetos de manufactura foránea (o por lo menos su estilo), así como también objetos de origen atacameño en otras regiones geográficas de los Andes. Una compleja red de intercambios existente en la región andina y en la cual SPA se insertó como punto nodal de caravanas provenientes de distintas regiones y nichos ecológicos es hoy ampliamente aceptada (Núñez 1992; Berenguer y Dauelsberg 1989; Llagostera 1996, 2004). Por lo tanto, resulta indudable una alta movilidad de grupos que tengan origen o destino a los oasis de SPA.

Esta estrategia socioeconómica alcanzó su apogeo cuando los oasis de SPA fueron incorporados en las redes de tráfico e intercambio que surcaban los Andes Centro-Sur, especialmente durante el Período Medio (1550-950 años A.P.). Para dicha época se ha descrito al Estado de Tiwanaku como un eje centralizador de las rutas y caravanas comerciales en el área andina, al mismo tiempo que difundía su ideología y creencias religiosas (Kolata 1993; Núñez 1992; Berenguer y Dauelsberg 1989; Llagostera 1996, 2004; Berenguer 2000)¹. La cultura Tiwanaku fue un poder importante, con áreas de influencia inmensas que abarcaron distintos nichos ecológicos y localidades. Se ha descrito usualmente que Tiwanaku mantuvo colonias en Perú, Bolivia y Chile con el fin de asegurar su acceso a recursos de interés. Para lo cual sostuvo un sistema de las denominadas “caravanas de llamas estatales” (Janusek 2004, 2008), las cuales lograron unir los lejanos puntos de la red de intercambio, sin constituir necesariamente un Imperio. Resulta impresionante evidenciar que a pesar de que los oasis de SPA se ubiquen a ca. 730 kilómetros del sitio ceremonial de Tiwanaku, de todas formas se lograron insertar en la órbita de influencia de esta cultura (Torres-Rouff 2008). Posteriormente, tras el declive de Tiwanaku, se habría generado una disminución en los contactos con extranjeros, hasta la posterior anexión del territorio por el Tawantinsuyo.

1.1.1. Modificación Corporal y DIC

La modificación corporal es una práctica ampliamente extendida tanto espacialmente (diversos lugares del globo), como temporalmente (distintas épocas). Entiendo como modificación corporal, cualquier tipo de alteración deliberada -permanente o no- realizada sobre el cuerpo humano por motivaciones de carácter no-médico o terapéutico. Esto sin embargo no niega la posible existencia modificaciones corporales mixtas que posean cierta finalidad curativa aunque no exclusiva. Existen múltiples tipos de alteraciones corporales, tales como *piercings*², tatuajes, cortes de pelo, escarificaciones, *brandings*³, pinturas corporales, implantes, entre otras. Los motivos que lleven a un individuo a alterar su morfología corporal pueden reflejar tanto valores culturales, como religiosos, estéticos, políticos y/o espirituales. Ritos de pasaje, identidad o expresión artística han sido por ejemplo algunas de las explicaciones entregadas por personas que modificaron sus cuerpos. Entre estas explicaciones, destacan las relacionadas con motivaciones sociales. Al parecer la búsqueda de identificación con algún grupo o segmento poblacional, ha sido una de las causas

¹Tiwanaku refiere a la cultura que construyó el sitio Tiahuanaco ubicado aledaño a la ribera sur del lago Titicaca (Bolivia) y que expandió su ideología a lo largo de los Andes Centro-Sur, definiendo al Período Medio (Janusek 2004, 2008).

²*Piercing* corresponde a la práctica de realizarse perforaciones en el cuerpo, con el fin de colocarse alguna clase de adorno, como aros o pendientes.

³*Branding* es una práctica de modificación corporal que consiste en quemar la piel mediante algún instrumento caliente (usualmente metálico), con el fin de generar cicatrices permanentes que representen a figuras o símbolos.

más preeminentes para alterar la propia morfología (Brain 1979). La modificación corporal al ser una marca visible y en muchos casos inmutable, se configuró como un signo claro e indistinto de pertenencia a alguna comunidad. Esto debe haber conllevado una serie de roles asociados, estatus y expectativas de conducta a los individuos portadores de la modificación corporal distintiva. Algunos autores han señalado que las alteraciones y adornos del cuerpo son un medio altamente efectivo para transportar información concerniente a la pertenencia y jerarquía dentro de un grupo (Meskell 1998). Esto se debería a su alta visibilidad, significancia simbólica y en muchos casos permanencia.

Las modificaciones corporales se pueden clasificar de múltiples maneras, siendo una de las más comunes su grado de irreversibilidad. Existen alteraciones tan efímeras como peinados o maquillajes, pasando por las pinturas corporales y *piercings*, hasta llegar a tatuajes de cuerpo entero o la deformación intencional del cráneo. La función de la mayoría de estas prácticas es social, generando un sello identitario de estatus a su portador (Torres-Rouff 2003). A su vez, mientras mayor sea la inversión de tiempo y recursos (y probablemente dolor) que requieran dichas costumbres, mayor distinción y espectacularidad adquirirán. Las prácticas más efímeras o transitorias como los peinados, tocados o pinturas corporales, suelen delimitar identidades temporales, que duran tan sólo mientras se mantenga la modificación sobre los cuerpos (Torres-Rouff 2003). Comúnmente son utilizados durante ritos o eventos especiales. Por otro lado, las modificaciones corporales permanentes tradicionalmente tipifican identidades sociales constantes o difícilmente modificables, como afiliaciones étnicas o grupales (Brain 1979). Sin importar su soporte corporal (e.g. tatuajes faciales, circuncisiones, auto-mutilamiento), estas alteraciones cargan un fuerte contenido simbólico y social, tales como roles o estatus social (Torres-Rouff 2003). Es por esto, y quizás también por su irreversibilidad, que las modificaciones corporales permanentes han suscitado tanta atención. El tiempo dedicado a producirlas, y lo llamativo del resultado final, demuestran la importancia que tuvieron estas prácticas para quienes las realizaron. Por ejemplo nos impresionan de sobremanera, las múltiples horas que requieren la elaboración de un tatuaje corporal de un miembro *yakuza* o la aparente fragilidad un pie sometido a la práctica del “loto dorado”.

En este sentido, la deformación intencional del cráneo (DIC) se configura como una de las modificaciones corporales de mayor interés, quizás debido a su alta representación en el pasado y en múltiples culturas (y su casi nula presencia en la actualidad), o tal vez por su carácter severo, alta visibilidad, inmutabilidad y al hecho de que para ser realizada debe ser practicada sobre infantes (quienes están imposibilitados para tomar decisión alguna sobre esta modificación). Según algunos autores, el remodelamiento de la forma del cráneo es una práctica trans-cultural que denota diversos aspectos sociales, tales como etnicidad, identidad y estatus dentro de ciertas comunidades (Dingwall 1931; Torres-Rouff 2003). Desde esta perspectiva, la modificación corporal

actúa generando distinciones visibles que demarcan posiciones y relaciones entre grupos, o dentro de una misma comunidad. Las modificaciones corporales permanentes estarían entonces intrínsecamente ligadas con su significado social, tanto a un nivel individual como colectivo (Torres-Rouff 2003). El cuerpo puede ser modificado, esculpido o adornado de acuerdo a los preceptos y normas propios de cada cultura en pos de adquirir su significado social distintivo, no obstante su margen de variación esta constreñido también por estas mismas normas y costumbres culturales (de ahí el exotismo de la DIC en la actualidad y la aparente “normalidad” del implante mamario, por citar un ejemplo). Por tanto, se hace realmente necesaria una atenta consideración al vínculo entre el cuerpo y la cultura.

1.1.2. DIC y los Andes Centro-Sur

La DIC es una práctica cultural ampliamente distribuida tanto geográfica como temporalmente (Dembo e Imbelloni 1938; Stewart 1943; Weiss 1962; Gerszten y Gerszten 1995; Özbek 2001), siendo especialmente reconocida en culturas prehispánicas sudamericanas (Dingwall 1931). El registro bioarqueológico sudamericano muestra una gran cantidad de individuos con DIC, así como gran diversidad de tipos deformatorios (Dembo e Imbelloni 1938). Estas deformaciones se habrían concentrado en distintas áreas dentro del sub-continente (Pérez 2006), siendo la zona andina de culturas estatales y jefaturas agrícola-pastoralistas, la que presentó la mayor diversidad (Raffino 1988) (Fig. 1.2). Los habitantes de los Andes habían desarrollado diversas prácticas para moldear las cabezas de sus niños antes de la prohibición española en 1585 (Fulgoni 1755; Hoshower et al. 1995; Blom 2005). Durante la conquista española, los cronistas describen detalladamente diferentes técnicas de deformación, así como también tipos y materiales usados (de las Casas 1892 [1561]; Cobo 1983 [1653]; Cieza de León 1960 [1548]; Garcilaso de la Vega 1918 [1609]).

Los Andes Centro-Sur la alteración artificial del cráneo ha sido descrita principalmente como la variación de dos técnicas y por el grado de inclinación del neurocráneo (Dembo e Imbelloni 1938). Una de estas formas es la denominada anular, circunferencial o circular. Este tipo deformatorio utilizaría aparatos deformadores de soporte no rígido, tales como fajas, turbantes o amarras, los cuales serían fuertemente envueltos alrededor del cráneo (Dingwall 1931). La deformación resultante ha sido descrita como “cónica” y afectaría a los siguientes huesos craneales: frontal, porciones del parietal, occipital y la escama del temporal (Antón 1989) (Fig.1.3b.). El pronunciado estilo hallado en contextos altiplánicos asociados a la cuenca del Titicaca, llevó a que durante comienzos del siglo XX, fuese conocida también como deformación tipo “Aymara” (Marroquin 1944).

El otro estilo encontrado frecuentemente en la región andina, es también muy frecuente en



Abb. 50: Verbreitung der Deformationsmethoden in Amerika.

Figura 1.2: Mapa de América mostrando las áreas de distribución de los distintos métodos de DIC (Vyslozil y Slavicek 2000). De superior a inferior: Deformación circular; Deformación tabular erecta; Deformación tabular oblicua; Deformación mixta.

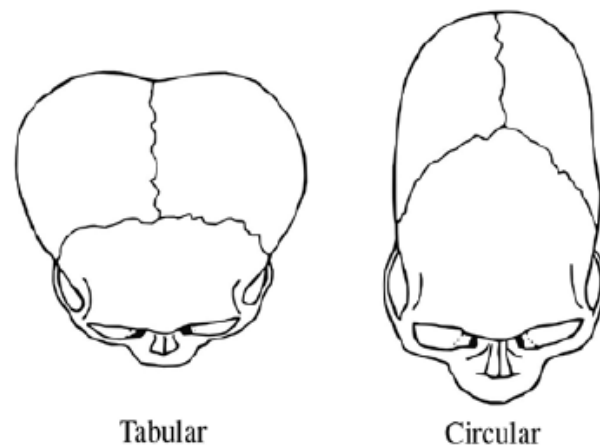


Figura 1.3: Tipos deformatorios a) Tabular y b) Anular (Antón 1989).

otros lugares del mundo (Torres-Rouff 2003). Este es conocido como tabular, fronto-occipital y fronto-lamboidal (Dingwall 1931; Falkenburger 1938) (Fig.1.3a). Frecuentemente se ha descrito que el aparato deformador utilizado para producir a este tipo deformatorio, sería un soporte rígido. Es decir, la DIC ocurriría como consecuencia de la compresión de los huesos frontal y occipital, mediante tablas recubiertas de alguna clase de almohadillas. El resultado es un aplanamiento de la frente y porción posterior de la cabeza del individuo, acompañado a veces de un abultamiento de los parietales (Antón 1989). Es importante señalar, que en ambos tipos deformatorios existe una considerable variación, relativo al nivel de presión empleado, así como al ángulo en que se dispuso el aparato deformador. De esta forma, se han definido otras dos categorías basadas en el grado de angulación del neurocráneo con respecto al plano de Frankfurt: a) erecta: aproximadamente 90° de inclinación del occipital, y b) oblicua: menor a 90° de inclinación del occipital (Dembo e Imbelloni 1938).

Se ha catalogado a los tipos deformatorios andinos en cuatro categorías (Dembo e Imbelloni 1938; Cocilovo 1994). Sin embargo, esta última distinción de carácter artefactual ha sido criticada, pues investigaciones recientes han mostrado que los tipos deformatorios refieren más bien al resultado morfológico de un proceso, más que al aparataje utilizado para producirla (Manríquez et al 2006; Salinas 2010). Además de la alteración en la forma del cráneo, se han reportado múltiples otras posibles consecuencias morfológicas y patológicas de dicha práctica (Dembo e Imbelloni 1938; Gerszten y Gerszten 1995; Frieß y Baylac 2003; Manríquez et al. 2006; Mendonça de Souza et al. 2008). Se ha evidenciado que la DIC no sólo afectaría a la bóveda craneal, sino que también a la base de cráneo disminuyendo su angulación y a aumentando la proyección anteroinferior a nivel del esplanocráneo (Frieß y Baylac 2003; Manríquez et al. 2006).

La desaparición de la DIC como una práctica cultural recurrente en el registro arqueológico,

ocurre al momento de la Conquista española, y debido las profundas transformaciones culturales que ésta significó (Weiss 1961). Se ha postulado que el objetivo principal de la DIC en la zona de los Andes Centro-Sur se explicaría primordialmente como un fenómeno de adscripción cultural (Weiss 1961; Torres-Rouff 2003). De esta forma, Weiss nos señala que dicha adscripción cultural de la DIC, puede ser entendida tanto sincrónica como diacrónicamente. Así, desde una perspectiva sincrónica, habrían dos variantes: a) diferencias interpoblaciones, asociadas a adscripciones geográficas, culturales e identitarias y b) diferencias intrapoblacionales, que se relacionaría mayoritariamente con diferenciaciones entre clases sociales o castas (Weiss 1961). Por otra parte, desde una perspectiva diacrónica existiría algún tipo de correspondencia entre el tipo deformatario y el período, lo cual sería visible a través del tiempo (Weiss 1961). Esto resulta interesante, pues podría indicar patrones de continuidad o cambios en las prácticas culturales de las regiones andinas, que podrían a su vez relacionarse con migraciones, cambios demográficos u otro tipo de factores poblacionales.

1.2. Antecedentes

-The propensity to deform, or alter from the natural form, some part of the body, is one which is common to human nature in every aspect in which we are acquainted with it, the most primitive and barbarous, and the most civilized and refined- William Henry Flower, *Fashion in Deformity* (1882).

1.2.1. La Deformación Intencional del Cráneo

¿Qué es la Deformación intencional del Cráneo?

La modificación intencional del cráneo (DIC) es el proceso de modificación corporal del patrón de crecimiento y desarrollo craneal a través de la utilización en los primeros de vida post-natal de aparatos deformadores usados con distinta intensidad. Es importante distinguir desde un principio a la DIC de fenómenos que también afectan a la morfología craneofacial, pero que no consisten modificaciones corporales, tales como la craneosinostosis y el “acunamiento” o *cradleboarding* (Dingwall 1931; Brothwell 1981; Cheverud y Midkiff 1992). La craneosinostosis consiste en la fusión prematura de una o más suturas craneales de un infante, lo que impide el crecimiento normal del cráneo impulsado por el desarrollo del encéfalo (DeLeon y Richtsmeier 2009; Heuzé et al. 2012). Por otro lado, el “acunamiento” consiste en un leve o moderado aplanamiento no-intencional del occipital, producto de prácticas de transporte o reposo de infantes y niños. En

ambos casos se distinguen de la DIC, debido a que esta última produce la remodelación intencional de la forma del cráneo.

Las consecuencias de la DIC consisten fundamentalmente en la modificación en magnitud y/o dirección de los vectores normales del crecimiento del neurocráneo (Manríquez et al 2006; Toro-Ibacache 2010). Aunque afectando a otros módulos craneales, producto de la integración morfológica del cráneo (Cheverud y Midkiff 1992). Las personas que practicaban la DIC en sus niños, enlazaban sus cabezas por meses o años con el fin de obtener el patrón morfológico deseado. La plasticidad que caracteriza al desarrollo craneofacial durante las primeras etapas de la ontogenia, permitieron la obtención diversas formas o tipos deformatorios. Por otro lado, se practicaba en los primeros años de vida, por lo que contrasta claramente con otras modificaciones corporales permanentes tales como los escarificaciones o tatuajes corporales, los cuales marcan importantes ritos de pasaje, o hitos vitales (Brain 1979). Ejemplo de lo anterior es el tatuaje corporal y facial Tā moko de los maoríes, quienes se marcaban el cuerpo durante el paso a la adultez. Además este tatuaje estaba íntimamente ligado al estatus y rango social del individuo que lo portaba, señalándose que quienes no lo portaban eran vistas como personas de menor posición social. En cambio, la DIC se practicaba en los primeros años de vida, y por tanto acompañaba a su portador desde que tuviese memoria. Esto implicaba que la DIC y la consecuente forma particular adquirida, constituían parte fundamental de la identidad individual de la persona (Torres-Rouff 2003). Además, como se realizaba durante la infancia, debió servir como un símbolo de adscripción a un grupo (e.g. social o étnico) al que se pertenecía por nacimiento y no por estatus adquirido.

Siguiendo a Torres-Rouff (2003) es posible señalar que las investigaciones concernientes a la DIC se pueden clasificar en cuatro grandes categorías: 1) descripción y clasificación; 2) el impacto de la práctica en la salud; 3) evaluación de las repercusiones morfológicas de la modificación craneal; y 4) intentos de entender los aspectos sociales de la práctica.

1.2.2. Clasificación de la Deformación Intencional del Cráneo

El estudio de la DIC data desde hace milenios, existiendo evidencias que mostrarían que Hipócrates, Heródoto, Aristóteles, Strabo, Plinio, entre otros pensadores clásicos, ya mostraban un interés por el estudio este fenómeno de modificación corporal en diferentes grupos culturales de su época (Gerszten y Gerszten 1995). Con el advenimiento de la era de los descubrimientos y posterior colonialismo europeo, distintos viajeros se encontraron con grupos humanos de distintas costumbres y prácticas con respecto a la DIC. Entre las primeras descripciones modernas acerca de esta modificación corporal encontramos la recopilación de relatos de viajeros de Melchisédec Thévenot y Thomas Moette (1696), quienes narran algunas de las primeras descripciones hechas

por europeos acerca de diversos pueblos que practicaban la costumbre de modificar la forma de sus cabezas.

No obstante, es tan sólo a partir de los siglos XVIII y XIX, que distintos investigadores se plantean el problema de definir la DIC, así como de que manera sería posible clasificar las diferentes morfologías que iban evidenciando a medida que sus colecciones coloniales crecían y se diversificaban. Surge así un intenso debate y sistemas de clasificación, acerca de como distinguir y ordenar a los cráneos que presentaban DIC y sus diferencias con los cráneos deformados no intencionalmente y no-deformados en absoluto (Dembo e Imbelloni 1938; Gerszten y Gerszten 1995). En Francia resalta de La Condamine (1745), quién describió esta práctica de modificación corporal en algunos pueblos indígenas del Amazonas, y las supuestas motivaciones que estos perseguían al practicar la DIC. Por su parte, una de las primeras aproximaciones científicas al problema de la DIC fue el trabajo de Foville (1834), médico jefe del asilo de alienados del Sena-Inferior. Su investigación de marcada tendencia higienista, versaba sobre la influencia de las vestimentas sobre los órganos humanos, con especial atención a la práctica de “cubrir la cabeza de los infantes”. Esta costumbre extendida en diversas zonas de la Francia rural se presumía era causante de diversas patologías mentales por lo que debía ser erradicada (Foville 1834). Posteriormente Gosse (1855) generó una de las primeras clasificaciones exhaustivas con respecto a las diferentes maneras de DIC en distintos lugares del planeta. Lo siguieron en el área francófona investigadores como Broca (1872, 1875, 1878), de Quatrefages y Hamy (1875), Topinard (1879, 1885), Deslisle (1889, 1902) y Régnault (1900, 1914) quienes describieron cráneos provenientes de distintas regiones de Francia y el mundo que presentaban DIC, hipotetizando sus posibles causas y consecuencias.

Por su parte en el mundo de habla alemana, Blumenbach (1776) fue uno de los primeros investigadores que centraron su interés en la variabilidad craneofacial humana. Por lo mismo mostró interés en aquellas referencias sobre la DIC, con especial atención a los informes coloniales provenientes de Hispanoamérica. Luego von Tschudi (1846) describió cráneos deformados provenientes del Perú y estableció la primera clasificación rigurosa para estos. Destacan por mérito propio los intentos de Lenhossék (1878) de estudiar los cráneos deformados de su natal Hungría y Virchow (1892) de analizar craneométricamente especímenes deformados. Por su parte, Meyer (1881) quien era alumno de Virchow, realizó una de las primeras monografías sobre la deformación de una región de Asia en particular (Borneo y Mindanao) y Kohler (1901) quien sintetizó en su disertación doctoral los conocimientos de la época acerca de la DIC. En el mundo anglosajón resalta en primera instancia la labor de Morton (1834), quien realiza un extenso análisis craneométrico de distintas poblaciones indígenas americanas en pos de su clasificación y comparación, incluyendo cráneos con DIC. Flower (1882) es uno de los primeros autores en preocuparse acerca de las causas de la DIC, y establece una de la primeras clasificaciones para las prácticas de mo-

dificación corporal. El trabajo de Hrdlička (1919) destaca por la discusión acerca de los distintos tipos de deformación hasta ese entonces conocidos y por algunas comparaciones craneométricas entre ellos. La siguiente tabla resume el número de tipos de DIC establecidos por algunos de los autores citados (Fig. 1.4).

Posterior a estos numerosos intentos de clasificar la DIC, surgieron los primeros intentos de elaborar una categorización más simple e integradora, que pudiera dar cuenta de la variabilidad existente en esta práctica de modificación corporal, pero sin ser excesivamente compleja. En esta línea se sitúan los trabajos de Imbelloni (1925, 1932, 1933, 1934, 1937), Dingwall (1931), Aichel (1933), Falkenburger (1938), Neumann (1942) y Weiss (1961). Cada uno de estos investigadores añadió o removió componentes de las clasificaciones previas, intentando actualizar su características para su utilización dentro de la antropología física.

No obstante la diversidad de maneras de para clasificar los cráneos con DIC, para el área sudamericana no hay duda que la clasificación más ampliamente conocida y utilizada es la de Dembo e Imbelloni (1938). Como se señaló anteriormente en otros apartados, con el fin de estudiar las DIC en nuestra región, se desarrolló un método clasificatorio con nomenclatura binomial, a modo de tabla 2x2, donde en las entradas se podían leer un componente relacionado con el elemento deformador (tabular o anular), y otro referente al grado de angulación de la morfología resultante (erecto u oblicuo). Originalmente esta clasificación no realizaba distinción alguna en los cráneos anulares (entre erectos u oblicuos) (Imbelloni 1933), sino que esta diferenciación fue añadida posteriormente (Allison et al. 1982). Ahora bien, el problema con estas clasificaciones resulta del uso indiscriminado y no crítico en las colecciones osteológicas de origen sudamericano. Desde sus inicios éstas fueron criticadas y cuestionadas por diversos investigadores, al punto de que el mismo Imbelloni tuvo que enviar algunos comunicados para clarificar dudas acerca de su utilización (Soto-Heim 1987). Esto llevó a que otros investigadores generasen otros sistemas de clasificación (e.g. Neumann 1942; Weiss 1961), lo que no subsanó el problema, sino que el por el contrario lo incrementó al dificultar aún más las comparaciones entre distintos estudios. El hecho de clasificar en cajones estancos como son las categorías deformatorias ya señaladas anteriormente, implica un problema, puesto que reduce una variación morfológica de carácter continuo como es la morfología craneofacial, en tan sólo cuatro “tipos”. Lo anterior, no sería mayor problema si es que las categorías creadas reflejasen el ordenamiento natural de los grupos (lo que sería un baja o nula sobreposición de los grupos en los ejes de mayor varianza morfológica). No obstante al parecer esto no es así, pues se ha observado que la distinción entre los distintos tipos deformatorios se daría casi exclusivamente por la dirección de la deformación en relación al plano de Frankfurt (erecto v/s oblicuo), y no por el supuesto aparato deformador utilizado (tablas y vendas: tabular v/s anular) (Manríquez et al. 2006). Por otro lado, la correcta utilización de la clasificación depende

Investigador	Número de Tipos de DIC establecidos	Referencia
Gosse	16	1885. Essai sur les déformations artificielles du crâne. Annales d'hygiène publique et de Médecine Légale 3:315; 4:5-86
Broca	5	1875. Instructions craniologiques et craniométriques. Mémoires de la Société d'anthropologie de Paris. Paris, 2e série, t. II, p. 1-203.
Lenhossék	4	1878. Die künstlichen Schädelverbildungen im Allgemeinen und zwei künstlich Verbildete makrocephale Schädel aus Ungarn: sowie ein Schädel aus der Barbarenzeit Ungarns. Königl. Ungar. Universitäts-Buchdruckerei.
Flower	4	1882. Fashion in Deformity. Nature 24:480
Morton	4	1839. Crania Americana. John Penington, Philadelphia.
Topinard	5	1879. Des déformations ethniques du crâne. Revue d'Anthropologie 2:496-506
Virchow	3	1882. Crania ethnica americana. A. Ascher, Berlin.
von Tschudi	3	1846. Peru, Reiseskizzen aus den Jahren 1838-1842. Scheitlin und Zollokofer, St. Gallen.
Hrdlička	2	1912. Artificial deformations of the humanskull with a special reference to America. 17. Congreso internacional de Americanistas. Buenos Aires, p. 147-149.
Imbelloni	4	1937. Deformaciones intencionales del cráneo en Sud América. Helminología 6:330-406.
Aichel	3	1933. Die künstliche Schädeldeformation. Zeitschrift für Morphologie und Anthropologie. Stuttgart, t. XXXI, p. 3-62.

Figura 1.4: Autores clásicos sobre la DIC y número de clasificaciones establecido.

fuertemente de la experiencia del observador, lo que implica un alto grado de subjetividad en su utilización, problema recurrente en los métodos morfoscópicos. Dada esta problemática, se hacen necesarios cada vez más estudios de enfoque “naturalista”, que no se basen en clasificaciones *a priori* para estudiar a la DIC, sino que por el contrario exploren los datos de la manera menos prejuiciosa posible. La riqueza del enfoque morfométrico geométrico aplicado a la DIC, surge de que cumple de mejor manera lo recién señalado, permitiendo a través de los análisis exploratorios estudiar la distribución de los especímenes en el morfoespacio generado por la variación de sus propias variables.

1.2.3. Aspectos Biológicos de la Deformación Intencional del Cráneo

-Il est sûr qu'on trouve, parmi la population d'une Maison de fous, beaucoup plus des conformations vicieuses du crâne, qu'on n'en observe sur un nombre égal d'hommes pris au hasard- Dr. Achille Foville, Dictionnaire de Médecine et Chirurgie pratiques, art. Aliénation mentale (1829).

La DIC ha sido materia de interés para bioantropólogos, arqueólogos e incluso médicos por mucho tiempo. Esto ha llevado a que se hayan desarrollado múltiples preguntas acerca de la relación entre la alteración de la morfología craneal, en relación a sus efectos en el bienestar y salud de las personas a las que se les practica esta modificación corporal. A lo largo del siglo XIX, diversos investigadores intentaron vincular a la DIC con los efectos que podría haber tenido sobre el desarrollo y funcionamiento normal del cerebro. Se partía del prejuicio de que esta práctica “barbárica” debía estar asociada necesariamente a un intelecto inferior. Además, se sostenía que la DIC podría estar vinculada a distintos trastornos mentales, como la depresión o la psicosis (Foville 1834; Dembo e Imbelloni 1938). Algunos médicos llegaron a asociar a la DIC con dolores de cabeza, sordera, meningitis, epilepsia, y en algunos individuos severamente modificados, con la idiotez y la locura (Foville 1834). Entre los médicos del siglo XIX que estudiaron a esta práctica destaca Foville (1834), que tuvo la oportunidad de trabajar con probablemente la última población europea que se deformó el cráneo: campesinos del suroeste de Francia. Este médico estudió a los individuos deformados (mediante vendajes o *bandeau*) que se encontraban en asilos, describiendo una mayor frecuencia de patologías mentales como las anteriormente descritas, en comparación a los otros internos (Foville 1829, 1834). No obstante lo anterior, su análisis se encuentra en extremo sesgado por utilizar únicamente a población residente de un asilo, siendo además campesinos de un menor nivel educativo, y por tanto catalogados *a priori* como ignorantes (Fig. 1.5).

En clara contraposición a lo anterior, se ha señalado que en la cultura Inka los niños eran deformados con el fin de que fuesen más saludables y trabajadores (Cobo 1983 [1653]). En con-



Figura 1.5: Francés del siglo XIX con DIC (Foville 1834).

cordancia con esto, otros argumentaron que la DIC no tendría efecto alguno sobre el intelecto, pues en América existían grupos indígenas vecinos algunos de los cuales modificaban su cráneo mientras que otros no, sin manifestar ninguna diferencia intelectual significativa (Flower 1882; Dembo e Imbelloni 1938). A modo general, se nota la existencia de claras inconsistencias, en muchos de los trabajos que han intentado ligar casualmente a la DIC y un detrimento en la inteligencia o salud mental de los individuos deformados. Lekovic et al. (2007) concluyen que debido al origen de la mayor parte del registro que poseemos sobre la DIC (etnohistórico y bioarqueológico), cualquier inferencia posible acerca de los efectos de esta práctica en aspectos cognitivos será tenue y altamente generalizada.

Se han estudiado menos los efectos que pudo haber tenido la DIC sobre aspectos diferentes a los concernientes a la psicología y psiquiatría. Sin embargo, la mayoría de estos estudios no muestran diferencias entre los individuos deformados y no-deformados (Blackwood y Danby 1955; Tommaseo y Drusini 1984). Blackwood y Danby (1955) estudiaron a los miembros de la cultura Arawe (Papúa Nueva Guinea), quiénes se elongaban la bóveda craneal mediante fuertes amarres. No encontraron limitación alguna asociada a la deformación, e inclusive sostienen que la DIC en esta cultura se debería netamente a motivos estéticos, y no mágico-religiosos. Eso sí, destacan el hecho de que los músculos nuchales serían más débiles, producto de un menor rol en el contrabalance del peso de la cara, debido a la proyección hacia posterior del cráneo causada por la DIC (Blackwood y Dandy 1955). Por su parte Tommaseo y Drusini (1984), estudiaron poblaciones amazónicas peruanas donde aún había individuos con DIC que se remontaban a ca. 40 años, sin encontrar evidencia alguna de daño neuropatológico (Fig. 1.6).

En general, hay casi una total inexistencia de estudios centrados netamente en aspectos mé-



Figura 1.6: Peruanos del siglo XX con DIC (Tommaseo y Drusini 1984).

dicos de la DIC en individuos vivos, lo que consecuentemente ha generado bastante especulación. Debido a la alta plasticidad ontogénica del encéfalo, la DIC no debió afectar mayormente a las capacidades cognitivas o intelectuales de los individuos deformados (Gerszten y Gerszten 1995).

Por su parte, las investigaciones llevadas a cabo en material esquelético de personas con DIC, han arrojado los siguientes resultados referentes acerca de las posibles consecuencias patológicas y morfológicas de esta práctica:

- Aplanamiento del frontal y el occipital, junto con un abultamiento de los parietales en las variantes tabulares del tipo deformatorio, y marcas de amarras en los tipos oblicuos (Dembo e Imbelloni 1938).
- Superposición de la escama del hueso temporal por sobre el hueso parietal en la articulación escamosa (Dembo e Imbelloni 1938; Gerszten y Gerszten 1995).
- Aumento en la frecuencia de huesos suturales o wormianos en individuos con DIC (El-Najjar y Dawson 1977; O'Loughlin 2004). Estos huesos son normales durante el desarrollo intrauterino, pero su presencia en adultos podría deberse a una compensación, frente a las presiones biomecánicas ejercidas sobre el neurocráneo (Dembo e Imbelloni 1938; Gerszten y Gerszten 1995; White 1996; Gerszten et al. 1998; Del Papa y Pérez 2007; Mendonça de Souza et al. 2008). Dentro de esta línea, destaca el trabajo de Pucciarelli (1974) quien deliberadamente deformó el cráneo de 77 ratones, que aunque no son directamente comparables con los humanos, si encontró un aumento en el número de huesos suturales.
- Disminución del ángulo de la base del cráneo, junto con una proyección anteriorinferior del esplacnocráneo (Frieß y Baylac 2003; Manríquez et al. 2006).
- La DIC de la bóveda craneal produce significativos cambios en la morfología de la base craneal y la cara (Kohn et al. 1993; Rhode y Arriaza 2006). La deformación anular generaría restricciones en las dimensiones medio-laterales y supero-inferiores del neurocráneo. La base

craneal presentaría restricciones similares, mientras que el esplanocráneo se proyectaría antero-posteriormente, y se reduciría en un eje antero-lateral a postero-medial (Kohn et al. 1993).

- Asimetría bilateral en el esplanocráneo, dando como resultado plagiocefalia (Dembo e Imbelloni 1938; Soto-Heim y Quevedo 2005). Sumado a lo anterior, se postula además asimetría basicraneal en los individuos con compresión deformadora cercana al foramen magno (Soto-Heim y Quevedo 2005). A pesar de lo anterior, otras investigaciones descartan la existencia de niveles significativamente diferentes de asimetría fluctuante a nivel facial entre individuos deformados y no-deformados (Vyslozil y Slavicek 2000; Toro-Ibacache 2010). Esto se debería al rol del aparato estomatognático como canalizador del desarrollo óseo craneal, a través de la distribución de presiones biomecánicas relativamente simétricas durante su funcionamiento: masticación, ingestión de alimentos, fonación, entre otras. Por lo que se observaría una oclusión balanceada y normal, sin desviaciones laterales a nivel maxilar y mandibular (Vyslozil y Slavicek 2000; Jimenez et al. 2012).
- Adelgazamiento de los segmentos óseos donde se efectuó la compresión de los aparatos deformadores (Dembo e Imbelloni 1938).
- Variación en la expresión de rasgos no-métricos o discretos, aunque sólo en algunos rasgos y sin ser muy notorio (Konigsberg et al. 2005).
- Pequeñas necrosis óseas y lesiones encefálicas producto de la leve isquemia generada por la presión biomecánica del aparato deformador. No obstante, estas lesiones carecerían de mayor importancia (Gerszten y Gerszten 1995; Gerszten et al 1998).
- Alteración en la vasculatura endocraneal (O'Loughlin 1996). Se observan diferencias entre el circuito de los vasos meníngeos medios y senos venosos de los individuos deformados, aquellos no-deformados, y una muestra de individuos con craneosinostosis. Los senos venosos ubicados bajo las áreas donde se aplicó la presión del aparato deformador eran comparativamente menos profundos, mientras que los más alejados se agrandaron, probablemente como respuesta compensatoria.
- Una hipotética aceleración en el cierre sutural (craneosinostosis), que podría haber generado un aumento en la presión endocraneal dañando de algún modo al tejido nervioso (Dembo e Imbelloni 1938; Gerszten y Gerszten 1995; Gerszten et al. 1998; Mendoça de Souza et al. 2008).

- Diferentes técnicas de DIC no sólo afectan al neurocráneo, sino que también a la forma mandibular (Vyslozil y Slavicek 2000). La DIC causa una reducción del ángulo entre la base frontal del cráneo y el plano oclusivo, lo cual generaría una extensión del neurocráneo. La deformación circular causaría una disminución de la región occipital, desviando el crecimiento craneofacial hacia vertex. La modificación del neurocráneo si cambiaría la base del cráneo, y por tanto afectaría la morfología mandibular (Cheverud y Midkiff 1992; Jimenez et al. 2012).

Relación entre la DIC y el Dimorfismo Sexual

Los estudios avocados a evaluar el grado de dimorfismo sexual en cráneos con DIC, pretenden determinar si esta práctica afectó o no al grado de diferenciación morfológica esquelética entre los sexos, en comparación a una muestra de individuos no-deformados. Los resultados obtenidos al utilizar las técnicas de la morfometría lineal multivariada en poblaciones humanas del extremo austral de Sudamérica, sugerirían una total independencia entre la DIC y el dimorfismo sexual (Cocilovo, 1978; Varela et al. 1993; Cocilovo et al. 1995). En esta línea, Cocilovo (1978) sugiere que existen algunas zonas del cráneo que no se verían afectadas por la DIC, estableciendo así, seis medidas para la estimación del dimorfismo sexual, las cuales no se verían afectadas por esta práctica cultural. Estas medidas hipotéticamente no afectadas por la DIC se encontrarían todas en la región facial o esplancocráneo (ancho frontal mínimo, ancho bizigomático, altura nasal, altura orbital, ancho orbital, ancho palatal), no obstante Rhode ha cuestionado esta supuesta independencia entre la DIC y estas medidas (Rhode 2002; Rhode y Arriaza 2006). Este autor puso a prueba la afirmación de Cocilovo en diez medidas de las sugeridas por Cocilovo (supuestamente inalteradas por la DIC), encontrando que habría un efecto significativo de la DIC en seis de las diez medidas propuestas por inicialmente. Por otro lado, Retamal (2004) utilizando las herramientas de la Morfometría Geométrica en fotografías en vista frontal, no encuentra diferencias significativas en el grado de dimorfismo sexual entre individuos con DIC y aquellos no-deformados. Vale decir, que la DIC no alteraría la forma de los hitos anatómicos utilizados para caracterizar la variación morfológica asociada dimorfismo sexual. Entonces tanto el dimorfismo sexual como la DIC, actuarían de manera independiente al modificar la morfología craneofacial. Lo anterior es de importancia, pues permitiría realizar estimaciones del sexo a través de técnicas morfoscópicas estándar (Buikstra y Ubelaker 1994), si mayores problemas. De todos maneras son necesarias futuras investigaciones morfométricas tridimensionales en muestras suficientemente representativas para zanjar este asunto.

Relación entre la DIC y la Edad

En relación a la relación entre DIC y edad, distintos estudios han mostrado que no es correcto aceptar de manera total la invarianza etaria postreproductiva, debido a que las distancias métricas varían entre las distintas fases etarias (adulto, maduro y senil) (Varela et al. 1993; Varela 1997). En este sentido, se ha señalado que existen diversas distancias inter-hitos que aumentan sus valores medios a medida que se pasa de un rango etario a otro (e.g. (altura de la nariz, anchura de la apertura piriforme, ancho biorbitario, ancho de la órbita, altura de la órbita, ancho fronto-malar, diámetro nasion-esfenobasion, curva horizontal, etc.). Mientras que por otra parte, hay otros valores que disminuyen con la edad (e.g. ancho maxiloalveolar). Dado que la DIC se realiza antes de alcanzar la edad reproductiva, estas evidencias sugerirían, la variación etaria postreproductiva descrita por Varela et al. (Varela et al. 1993; Varela 1997) no debiera ser una variable que modifique los resultados obtenidos en muestras de individuos adultos, maduros o seniles.

1.2.4. Aspectos Socioculturales de la Deformación Intencional del Cráneo

- *“Le nom d’Omaguas dans la langue du Pérou, ainsi que celui de Cambevas que leur donnent les Portugais du Parà dans la langue du Brésil, signifie Tête-plate: en effet, ces peuples ont la bizarre coutume de presser entre deux planches le front des enfants qui viennent de naître, et de leur procurer l’étrange figure qui en résulte, pour les faire mieux ressembler, disent-ils, à la pleine Lune”*- Charles Marie de La Condamine, Mémoires de l’Académie des Sciences de Paris, (1745).

Menor atención han recibido los contextos sociales y culturales en los que se produjo y desarrolló la práctica de la DIC. Como se ha revisado, la mayor parte de los estudios se han enfocado en conocer el efecto de esta modificación corporal en la biología de los individuos a los que se les practicó. Sin embargo, varios autores del siglo XX intentaron explicar las motivaciones que llevaban a diversos grupos humanos a practicar la DIC. De esta manera, se ha querido ligar a la DIC con la afiliación cultural (Tello 1928; Stewart 1943), período cultural (Kroeber 1926) y/o patrón de asentamiento (Litcham 1937). Más recientemente algunos trabajos de corte mayoritariamente bioarqueológico y realizados en material esquelético se han enfocado en esta problemática. Por ejemplo, existen estudios que han asociado la posibilidad de colonias Tiwanaku en el sur de Perú, específicamente en Moquegua, utilizando la DIC como marcador (Hoshow et al. 1995). Estos autores llegan a la conclusión de que existiría una correlación entre las prácticas de DIC, y la distribución espacial de las tumbas. Esto se relacionaría con la existencia de un posible segmento social que utilizaría

a la DIC como símbolo de membrecía o pertenencia (Hoshowet al. 1995). En contraposición a lo anterior, otro estudio descubrió una fuerte homogeneidad en los cementerios asociables a Tiwanaku al poniente y oriente de la capital (Tiahuanaco), pero también una notable diversidad de tipos deformatorios en dicha ciudad (Blom 1999, 2005).

Otras ideas más generalizadas son que la DIC constituiría una expresión estética (Brain 1979), un indicador de posición social o estatus dentro de una sociedad (Cassels 1972) y/o un marcador de pertenencia a un grupo social (Munizaga 1987). Existe evidencia en algunos sitios (Beaverdam, Georgia) que la deformación del cráneo habría sido practicada con propósitos estéticos exclusivamente en el segmento femenino de la población (Blakely y Mathews 1975). Por otra parte, otros sitios relativamente cercanos (King, Georgia) presentan cráneos con DIC asociados a cultural material guerrera. Esto habría sugerido que la DIC habría estado ligada al estatus del guerrero, funcionando como símbolo identificador aquel grupo social (Garret 1988). Por su parte en pleno altiplano boliviano (Oruro), se ha hipotetizado que la DIC habría servido para distinguir entre castas o grupos intra-sociales: la deformación tabular erecta correspondería a las élites, la deformación tabular oblicua sería por su parte característica de grupos con una jerarquía algo menor, mientras que las deformaciones anular oblicua y erecta se adscribirían al común de la población dado que eran las más frecuentes (López 1956).

Otros estudios realizados en Mesoamérica, más en específico en las regiones Maya, muestran que las diferencias en los patrones de DIC al interior de los sitios arqueológicos, se deberían a diferencias en la organización social, prácticas familiares y patrones de residencia (Tiesler y Blom 1998, 2001). Esta autora destaca el carácter familiar que tuvo al parecer la DIC y el papel preponderante de las mujeres en la producción de esta práctica. En sintonía con esto, investigaciones realizadas en la costa de Arica (Chile) con poblaciones prehistóricas de origen Chinchorro, mostrarían que la alteración de la forma del cráneo sería mayoritariamente generada a nivel familiar, más que producto de especialistas (Arriaza 1995).

Otro aspecto socialmente relevante de la DIC, parece ser el hecho de que la DIC se ha asociado en ciertos grupos humanos con distinciones de clase o sub-grupos sociales, como por ejemplo hombres guerreros, clases altas o élites (Garrett 1988; Molleson y Campbell 1995; Boada Rivas 1995). Así en ciertas culturas la DIC no sólo sería un símbolo de división inter-grupal, sino que también podría haber funcionado como signo de distinción intra-grupal, marcando divisiones entre estratos sociales. En 1615 Torquemada escribía sobre este asunto -:

“ [...] y con esto ponían mucha diligencia y por privilegio grande concedían los del Piru a algunos señores, a quienes querían favorecer, que formasen las cabezas de sus hijos, de manera, que los Reyes, y todos los otros de su linaje”. (Torquemada [1615])

citado en Weiss 1962).

Sin embargo, otros estudios han mostrado que dicho patrón no es universal, existiendo poblaciones donde la DIC se encontraba distribuida homogénea y ampliamente en la población, sin importar el nivel social del individuo (Cassels 1972; Torres Rouff 2002). De todas maneras, resulta indudable que la DIC formaba parte integral del sistema de creencias andino, siendo un símbolo cultural multivocal (Hoshowers et al. 1995). De hecho a pesar de la prohibición sobre la DIC impuesta por la Corte Eclesiástica de Lima en 1585 (Fulgioni 1755), la costumbre siguió muy arraigada en diferentes grupos de los Andes:

“ La persistencia de la costumbre de deformar las cabezas mucho tiempo después de la conquista, a pesar del empeño del inquisidor que pusieron los españoles para desarraigarla demuestra la hondura de su impregnación en los pueblos que la usaban”⁴
(Saénz de Aguirre [1755] citado en Blumenbach 1776).

Lo que estos diversos resultados nos enseñan es que la DIC resulta de una decisión cultural específica para cada cultura y su contexto histórico, y que no existe una explicación unívoca para su elaboración. Sin embargo, como se ha revisado anteriormente, la práctica de modificaciones corporales responde preferentemente a ciertas motivaciones más o menos comunes, que varían en su expresión cultural en relación a la historia propia de cada cultura. Así, la DIC puede verse como una alteración corporal que busca utilizar al propio cuerpo como lienzo para trazar símbolos de identidad étnica, sociales, comunitarias, etc. compartidos con los individuos que también presentan esta modificación física, y diferenciándose de aquellos que no la poseen (Torres-Rouff 2002).

Resulta interesante también señalar, que en general se ha observado una relativa independencia entre la frecuencia de cráneos deformados en un grupo, y el sexo. En este sentido, diversos trabajos han mostrado que en el Norte chileno, no existirían diferencias significativas entre la cantidad de individuos deformados masculinos y femeninos (Torres-Rouff 2002; Manríquez et al. 2006). Esto nos indicaría tentativamente que al menos para la prehistoria de los Andes Centro-Sur, la DIC no habría actuado como una distinción de género.

⁴“*Cupientes penitus extirpare abusum, et superstitionem, quibus ludi passim infantium capita formis imprimunt, quos ipsi vocant*” Saénz de Aguirre, José. 1755. *Collectio maxima conciliorum omnium Hispaniae et novi orbis. Ubi in historia Synodi tertiae dioecesis Limensis a 1585. d. 17 Jul. decretum ne Indifiliorum capita forment typis*; ed. 2. Roma. fol. T. VI. pág. 204.

1.3. Enfoques Teórico-Metodológicos utilizados en el estudio de la variación morfológica generada por la DIC

Se resumen las principales aproximaciones teóricas y enfoques metodológicos concernientes al estudio de la variación morfológica de los cráneos. Se describen los principales alcances y limitaciones de cada perspectiva.

1.3.1. Enfoque Descriptivo

Se basa en la obtención de representaciones fotográficas y/o gráficas, usualmente en norma lateral de cráneos deformados y no-deformados. A este material se le analiza a través de la inspección morfoscópica directa o mediante el uso de diagramas de perfiles que son sobrepuestos a las representaciones, y donde se han establecido los ejes de planos establecidos anatómicamente. Dichos ejes se utilizan para la medición de distancias lineales o ángulos, cuyos rangos de distribución permitan realizar una discriminación entre los distintas morfologías craneales, y su posterior clasificación en distintos “perfiles” de acuerdo a la forma geométrica que adopta el polígono craneano (e.g. obélico, circular, etc.) (Imbelloni 1933; Dembo e Imbelloni 1938).

Así por ejemplo, Imbelloni (1933) sentó las bases de su clasificación de los cráneos del altiplano sudamericano, en 2350 datos métricos colectados en 94 cráneos provenientes de Perú, Argentina y Bolivia, alojados en los museos de Buenos Aires y La Plata. Estos cráneos fueron seleccionados a partir de una óptica tipológica, y fueron estudiados mediante diagramas. Cada cráneo fue sometido a diversas mediciones tales como siete medidas para definir el polígono neurocraneano, otras siete para evaluar la comprensión de los huesos frontal y occipital, así como otras más para definir otras figuras geométricas de sustento anatómico. Imbelloni (1933) nos señala sobre su metodología -:

“Aún prescindiendo del significado fisiológico de este método, era evidente que la geometría craneana estaba llamada a ofrecer los medios más directos e inmediatos para fijar los caracteres distintivos de una deformación, precisando la expresión cuantitativa de cada carácter”.

En este sentido, destaca claramente el mero carácter descriptivo del método, pues se desconocen el funcionamiento biomecánico del cráneo al momento de efectuarle diferentes presiones, se desentiende también de los posibles efectos de esta práctica sobre la biología de los individuos, entre

otras cosas. Lo único que se busca en esta etapa es simplemente describir lo más acuciosamente el fenómeno observado.

Por otra parte, el enfoque descriptivo da gran importancia a la clasificación tipológica de los cráneos deformados, centrándose su énfasis en dicha clasificación, en el tipo de aparato deformador que supuestamente utilizado, así como también a los cambios generales de la morfología neurocraneal y a su grado de inclinación. A diferencia de Hrdlička (1912), quien clasifica a los cráneos con DIC de acuerdo únicamente a la forma resultante del proceso deformatorio (e.g. *flat-heads*), Imbelloni (1925) distingue a los cráneos en tabulares (asumiendo la utilización de un soporte deformatorio rígido) y oblicuos (suponiendo la utilización de aparatos deformadores elásticos como bandas o vendajes). A su vez, agrega a cada una de estas categorías la posibilidad de ser erecta u oblicua dependiendo de la orientación del neurocraneo en norma lateral y alineado en plano de Frankfurt. De esta manera, los cráneos tabulares son a su vez subdivididos en erectos, cuando la comprensión del aparato deformador habría sido aplicada en la línea del plano nuchal con centro en el punto craneométrico de Inion, y en oblicuos, cuando la DIC es producto del accionar de “tabletas libres” centradas en la región craneal supralamboídea. Por su lado, los cráneos denominados anulares, son distinguidos a su vez también divididos en erectos u oblicuos, dependiendo de la angulación neurocraneal generada por la presión de correas y vendas elásticas que comprimen circularmente al cráneo. Aunque esta clasificación es bastante antigua, su aplicación a los restos bioantropológicos del área andina, ha continuado casi sin crítica o actualización.

De esta manera, materiales provenientes de cementerios de los Oasis de San Pedro de Atacama, han continuado siendo clasificados de acuerdo a estas categorías ya clásicas (Varela et al. 1993; Torres-Rouff 2002), así como de otras regiones del norte de Chile como Arica (Varela et al. 1993). En estos trabajos existe una ausencia total de algún esbozo de crítica a la utilización de criterios de clasificación tipológicos. Estos se basan en la existencia de “morfologías ideales” a las cuales los cráneos se asemejarían en mayor o menor medida, no obstante éstos deben ser clasificados obligatoriamente en alguna de estas cuatro categorías, reduciéndose así la variación natural existente en cualquier fenómeno natural.

1.3.2. Enfoque morfométrico lineal de caracteres métricos y no métricos:

Quizás uno de los enfoques más extendidos en la literatura bioantropológica en especial en las investigaciones relacionadas con afinidades biológicas. Se sustenta en la medición de distancias

interhitos, ángulos o estados del carácter de rasgos discretos (también conocidos como rasgos no-métricos), y en el posterior análisis estadístico de dichas matrices (usualmente de distancias), con respecto a la existencia o no de diferencias entre grupos. Este enfoque investigativo, supuso un avance con respecto a la Antropología Física clásica, que sustentaba su quehacer analítico en promedios o índices de mediciones univariadas (e.g. Munizaga 1971). En este sentido, la morfometría lineal multivariada se ha convertido desde hace varias décadas en una herramienta estándar en Biología y Bioantropología, dado que permite el análisis simultáneo entre distintas variables métricas, y con otras de interés biológico (estadísticamente independientes de las primeras) como pueden ser el dimorfismo sexual, origen geográfico, temperatura promedio, tipo de dieta, etc.

Destacan dentro de las técnicas utilizadas los métodos exploratorios (e.g. PCA), las pruebas confirmatorias (e.g. MANOVA) y la utilización de matrices de distancias (e.g. Mahalanobis). En el caso de su aplicación a la DIC, las técnicas morfométricas lineales han sido utilizadas para evaluar el efecto de esta práctica sobre la morfología craneofacial, en pos de reconocer que variables métricas se encuentran o no afectadas por la DIC. De esta manera, se pretende utilizar en análisis de distancias solamente a las variables no afectadas por la DIC, utilizando indistintamente a cráneos deformados y no-deformados (e.g. Rothhammer y Silva 1990; Rothhammer et al. 2002). No obstante se dispone de evidencia contraria, que muestra como la DIC afecta a algunas de las regiones craneofaciales supuestamente invariantes a su efecto (Manríquez et al. 2006). El estado actual de estudio de las poblaciones humanas prehispánicas del área Centro-Sur Andina, se sustenta en la amplia utilización del enfoque morfométrico lineal (Cocilovo et al. 1982; Cocilovo 1994; Rhode 2002; Rothhammer et al. 1982; Rothhammer y Silva 1990; Rothhammer et al. 2002; Varela y Cocilovo 2002).

Los estudios realizados bajo esta perspectiva, con cráneos provenientes de sitios arqueológicos principalmente de Arica y otras zonas del Norte chileno, se han enfocado en entender cuáles habrían sido los efectos de la DIC en la biología de los individuos que presentaban dicha práctica cultural, así como también su relación con las variables independientes de sexo y edad, y en la estimación de distancias biológicas (Cocilovo, 1975; Mendonça y Di Rienzo 1982; Varela et al. 1993; Cocilovo y Costa-Junqueira 2001; Rothhammer y Santoro 2001). En menor medida se han utilizado también en el análisis de la DIC valores angulares y rasgos discretos o no-métricos. En la primera situación, los datos crudos fueron sometidos a un análisis de componentes principales y correlación (Soto-Heim, 2004), mientras que para el análisis de rasgos discretos, estos fueron categorizados dicotómicamente (presencia/ausencia), siendo posteriormente linealizados a valores de frecuencia a través de una transformación arcoseno, y utilizando dichas frecuencias

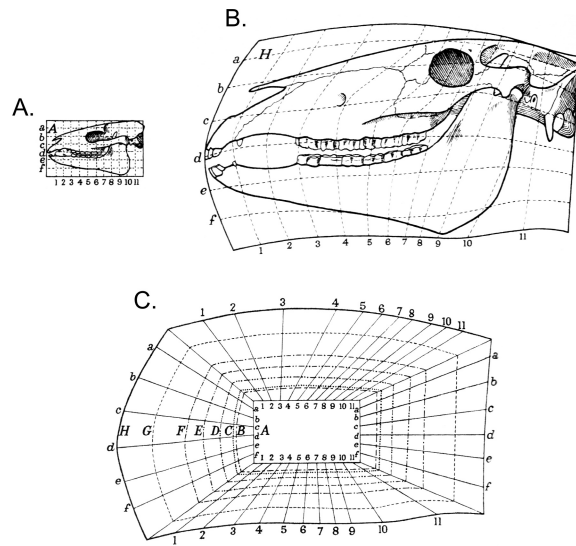


Figura 1.7: Transformación de Grillas Cartesianas (D'Arcy Thompson 1917). Cráneo del Eoceno de *Hyracotherium* A) transformado al cráneo moderno de *Equus* (B). Nótese la representación hipotética de los estados intermedios de la transformación a través de interpolaciones lineales (C).

para estimar la medida media de divergencia (MMD) (Sutter y Mertz 2004). En otro estudio de rasgos no-métricos, estos son estandarizados a valores ortogonales mediante la división entre los componentes principales y las raíces cuadradas de los valores propios (*eigenvalues*) de la matriz de varianza-covarianza (Rothhammer et al. 1984).

1.3.3. Enfoque Morfométrico Geométrico

A modo sucinto se puede señalar que esta perspectiva es la síntesis entre la biometría clásica (Rohlf y Marcus 1993; Sokal y Rohlf 1995) y las técnicas de transformación de grillas cartesianas de D'Arcy Thompson (1917) (Fig. 1.7). Este enfoque se basa en (Bookstein 1991): a) uso de hitos de morfocoordenadas y contornos como datos primarios con construcción de espacios multidimensionales de los componentes de la forma (espacio de Kendall), b) remoción de las diferencias debidas a tamaño, rotación y traslación, y registro de la variación de la forma mediante sobreposición de hitos homólogos (análisis de Procrustes), c) obtención de un estimador del tamaño geométrico (tamaño del centroide), independiente de los estimadores de la forma (componentes de variación uniforme y variación no uniforme), d) representación geométrica del patrón de variación de la forma (función de placa delgada) en morfoespacios de dos o tres dimensiones que recuperan la información espacial contenida en los objetos biológicos (análisis de *relative warps*), e) puesta a prueba de hipótesis estadísticas y biológicas sobre la significancia de las diferencias entre grupos

respecto de la variación de los componentes de la forma y de las variables independientes que, eventualmente, explican dichas diferencias (Manríquez 2005).

Debido quizás a un pasado de desarrollo estadístico común (Slice 2007), así como a que gran parte de los objetos de estudio clásicos de la Antropología Biológica han sido tradicionalmente fósiles y huesos, la aplicación de la Morfometría Geométrica a distintos problemas asociados a la morfología homínida ha crecido increíblemente en los últimos años. Así hoy en día, es posible encontrar estudios acerca de la variación morfológica calvaria en poblaciones actuales (Hennessy y Stringer, 2002; Viðarsdóttir et al. 2002), extintas (Harvati 2003), fósiles de homínidos (O'higgins 2000), y otros primates (Penin et al. 2002). No obstante este continuo aumento de las publicaciones que utilizan a la Morfometría Geométrica para resolver problemáticas relacionadas con la Bioantropología, existen muy pocos trabajos que la hayan utilizado para estudiar la DIC. Entre estos trabajos destacan los análisis de contornos (*outlines*) de cráneos deformados (Frieß y Baylac 2003; Baylac y Frieß 2005), en los cuales se señala que la morfología de los cráneos con DIC sería caracterizada de manera más precisa a través de técnicas de contornos (e.g. Análisis Elíptico de Fourier o EFA), que mediante un enfoque basado en hitos homólogos (*landmarks*). Por otro lado, otros trabajos estudian a la DIC mediante las técnicas estándar de la Morfometría Geométrica basada en hitos, encontrando que la DIC produciría una disminución del ángulo de la base del cráneo, junto con una proyección anteriorinferior del esplanocráneo (Manríquez et al. 2006; Salinas 2010) y que ésta no afectaría los niveles de asimetría fluctuante a nivel facial, probablemente por el efecto canalizador del desarrollo que tendrían las presiones biomecánicas generadas por el aparato estomatognático (Toro-Ibacache 2010). Para más detalles acerca de la Morfometría Geométrica ver Anexo 7.

1.4. Prehistoria de San Pedro de Atacama

*-Quién podría la enorme dignidad del
desierto de Atacama como un pájaro
se eleva sobre los cielos apenas
empujado por el viento-*
Raúl Zurita, Purgatorio, 31 (1971-1977).

1.4.1. Contexto Geográfico y Climático

El desierto de Atacama

El desierto de Atacama forma parte de una unidad geomorfológica mayor, el desierto costero Peruano-Chileno, que se extiende por más 3500 kilómetros entre las latitudes 5° y 26° S (Rauh 1985). La existencia de este desierto es resultado de la corriente fría de Humboldt, el efecto sombra de lluvia producido por los Andes, y su posición latitudinal (Weischet 1975). Por su parte, la fisiografía de esta zona se compone de tres unidades longitudinales: la Cordillera de la Costa, la depresión Intermedia y la Cordillera de los Andes. Atravesando solitariamente estas formaciones se encuentra el río Loa, cuyo cauce de 440 kilómetros transporta recursos hídricos desde el macizo andino hasta el océano Pacífico (Niemeyer y Cereceda 1984). Este río y sus tributarios son de vital importancia para la preservación de ecosistemas ribereños y de oasis, representando el sustento de la actividad biológica y humana en el desierto por miles de años. En el desierto de Atacama, el límite en altura de la zona de aridez experimenta un notorio crecimiento en su penetración altitudinal. Si en Arica esta franja llega hasta los 1.500 m.s.n.m, en la II región de Antofagasta alcanza hasta los 3000 m.s.n.m a la latitud 24°-25° S, disminuyendo paulatinamente más al sur (Marquet 1998). Es debido a esta extrema aridez, que la Puna de la II Región ha sido denominada como Puna Salada (de Iquique al Salar de Atacama) por sus escasísimas precipitaciones, en contraposición a la Puna Húmeda (altiplano boliviano) o la Puna Seca (de Arica a Iquique), donde la humedad facilita el desarrollo de la agricultura (Troll 1968; Núñez y Santoro 1988).

A diferencia de otras zonas desérticas del mundo, la extrema aridez del desierto de Atacama es al parecer de gran antigüedad. Se ha sugerido a través de la evidencia paleoclimatológica, que los ecosistemas desérticos del norte de Chile han existido desde al menos el Eoceno Tardío (Mortimer 1980), con momentos más húmedos durante el Oligoceno y Mioceno, u con fuerte actividad pluvial durante el Plioceno y el Pleistoceno (Alpers y Brimhall 1988). De hecho, la existencia de salares en la región ha sido explicada por eventos glaciares cuaternarios y que formaron lagos de distinta envergadura, y que posteriormente se desecaron (Eriksen 1983). Estas distintas fases de desecación y humedad, conllevaron el cambio notorio en los recursos faunísticos, vegetales e hídricos en la zona, especialmente durante la transición Pleistoceno-Holoceno (Messerli et al. 1993). Durante dicha época, se produjo una intensificación del invierno altiplánico, lo cual redundó en un incremento en las precipitaciones en la zona andina hasta los 24° S (Grosjean et al. 1995).

Tras este periodo de alta pluviosidad, se produjo un severo aumento en la aridez del área, entre los 8.400-3000 A.P. lo cual es coincidente con el denominado período de “silencio arqueológico”. Esta aridez extrema fue sólo interrumpida, por discretos eventos de alta pluviosidad probablemente de origen tropical (Grosjean et al. 1995). Desde los 3.000 A.P. en adelante, se implantó el sistema

de precipitaciones actual, que alcanzan alrededor de 200 mm anuales en el altiplano (Grosjean 1994). Esta sucesión de eventos, no sólo afectó a la composición de los actuales ecosistemas de la zona (Marquet et al. 1998), la cual se caracteriza por un alto endemismo y baja diversidad de especies, sino que también a la movilidad, uso de recursos y patrones de asentamiento de las poblaciones del lugar (Núñez y Santoro 1988).

Los oasis de San Pedro de Atacama

Los oasis de SPA se ubican en el desierto de Atacama a aproximadamente 2500 m.s.n.m entre la Cordillera de los Andes y un cordón cordillerano desprendido de ésta última denominado Cordillera de Domeyko, señalado como la cadena montañosa de menor humedad en el mundo (Fig. 1.8). Es importante señalar que además se encuentran a aproximadamente 730 kilómetros de distancia del lago Titicaca, lugar de importancia por las influyentes culturas que allí habitaron (e.g. Tiwanaku). El ecosistema de esta zona ha sido catalogado como desértico, y se caracterizaría, entre otras cualidades, por a) una productividad baja y altamente variable (dependiente de las precipitaciones y la disponibilidad de nutrientes), b) una baja eficacia de utilización de la producción de plantas por parte de los herbívoros, c) una alta remoción de la biomasa de plantas por erosión física y d) una baja riqueza de especies (Marquet et al. 1998). Estas mismas sus características climáticas y geológicas que dificultan habitar allí, han preservado de manera excelente los materiales culturales y restos biológicos de las poblaciones que allí existieron. Esta región es una de aquellas zonas privilegiadas donde es posible realizar un estudio detallado de las relaciones biológicas de los grupos humanos que alguna vez allí habitaron. El árido clima de la zona, en conjunto a la alta salinidad natural del suelo, resultan en las condiciones idóneas para la preservación de restos orgánicos e inorgánicos, y por tanto posibilitan una excelente preservación de restos y vestigios arqueológicos (Núñez 1992; Llagostera 2004). Estas particulares condiciones de preservación locales permitieron que diversas investigaciones y rescates arqueológicos, recuperasen de los oasis y zonas aledañas, quizás una de las colecciones bioantropológicas y arqueológicas más representativas de una misma región geográfica de América (Costa 1985, 1988; Llagostera et al. 1988; Costa y Llagostera 1994).

Por otro lado, estos mismos oasis aledaños al borde del Salar de Atacama tuvieron un pasado altamente complejo, siendo señalados usualmente como parte importante de las dinámicas sociales de los Andes Centro-Sur. Probablemente debido a su estratégica ubicación geográfica, los oasis de Atacama han sido concebidos mayoritariamente como un punto de encuentro e intercambio para las caravanas mercantiles provenientes del noroeste argentino, la costa y el sur boliviano (Tarragó 1976; Núñez 1992; Berenguer et al. 1986; Berenguer y Dauelsberg 1989; Llagostera 1996, 2004).



Figura 1.8: Mapa de los Andes Centro-Sur, con las posiciones de San Pedro de Atacama y Tiwanaku (Modificado de Torres-Rouff 2008).

Es debido a lo recién señalado, que el cambio cultural y desarrollo de los grupos humanos que poblaron los oasis atacameños habría sido generado primordialmente por su condición de nodo inserto en diversas redes de intercambio y comercio. Lo anterior no es menor importancia, pues diversos trabajos han señalado que en el mundo andino, únicamente las poblaciones insertas en las dinámicas de intercambio logran satisfacer sus diversas necesidades (Núñez y Dillehay 1979; Berenguer y Dauelsberg 1989; Llagostera 1996). Esto se debería a que las extremas condiciones medioambientales de aridez y altitud presentes en la zona de los oasis de Atacama producen una fuerte escasez de recursos nutricionales e hídricos, lo que genera una fuerte dependencia de recursos de zonas lejanas.

1.4.2. Secuencia Cronológica

Periodificación

Como en muchas otras regiones de importancia arqueológica los marcos cronológicos mejor definidos y aceptados para la zona de SPA, son aquellos elaborados a partir de seriaciones cerámicas. Desde de los comienzos de la arqueología en los oasis de SPA, la cerámica ha servido indudablemente como medio para la datación relativa de diversos contextos (Uribe 2002). Esto se debe a que el estudio detallado de las cambios en la manufactura e iconografía de esta materialidad permiten visualizar el desarrollo cultural a través de la distintas fases de la prehistoria atacameña (Tarragó 1976, 1989; Berenguer et al. 1986; Uribe 2002). A pesar de las cada vez más

complejas seriaciones cerámicas, sólo en algunos casos se procedió a corroborar sistemáticamente dichas construcciones teóricas mediante dataciones absolutas (Berenguer et al. 1986; Uribe 2002; Hubbe et al. 2012). Esto ha logrado que las fases culturales estén relativamente bien definidas en función de periodificaciones cronológicas absolutas, por lo que la presente tesis se guiará por éstas mismas. La periodificación de referencia corresponderá a las fases establecidas por Berenguer et al. (1986), debido a que corresponden a una de las propuestas más sistemáticas para comprobar las fases cerámicas sugeridas por Tarragó (1976). Por lo demás, esta periodificación ha sido ampliamente utilizada por lo que se simplifica el proceso de comparar resultados con otras publicaciones. Aunque existen otras periodificaciones más actualizadas y depuradas para ciertos momentos cronológicos (Tarragó 1989; Uribe 2002), resulta más complicada la contextualización de algunos sitios arqueológicos aquí utilizados, así como la interpretación de resultados en relación a trabajos situados en la periodificación más clásica. En general, estas nuevas propuestas implican la inclusión de nuevas subdivisiones en las fases o períodos de la periodificación previa (Berenguer et al. 1986), lo que puede resultar positivo para cierto tipo de investigaciones que necesiten una resolución temporal más alta. No obstante, para la presente tesis la división más tradicional resulta más que suficiente, pensando su carácter comparativo y diacrónico. Berenguer et al. (1986) propone una división de la prehistoria atacameña en ocho etapas (Fig. 1.9), que se inicia desde los albores del Formativo, hasta el arribo de la conquista española. Los contextos funerarios y sitios aquí utilizados han sido mayoritariamente contextualizados dentro de esas fases, por lo que no existiría problema alguno en su utilización.

Resumen de la Prehistoria Atacameña

Arcaico La ocupación humana de los oasis de SPA se inicia alrededor de 10 mil años A.P (Núñez et al. 2001, 2002), y ya desde sus inicios, la ocupación humana estuvo asociada a la explotación de distintos nichos ecológicos. Aunque se sabe relativamente poco sobre estas poblaciones, debido a lo pequeño y circunstancial de sus campamentos, en general se asume que eran grupos cazadores-recolectores de carácter trashumante. Éstas habrían recorrido la gradiente altitudinal del norte árido, siguiendo las migraciones de sus presas, mayoritariamente camélidos (Lynch 1975, Núñez 1995). Esto significó que ya desde un comienzo, las poblaciones de esta zona se caracterizaran por una alta movilidad.

Posterior a esta ocupación inicial y alrededor de 8.000 A.P, surge lo que ha sido denominado en la arqueología de la zona como “silencio arqueológico”, debido a la ausencia de evidencia de ocupaciones humanas para dicho período (Núñez et al. 2002; Núñez 2005; Núñez y Grosjean 2003). Al parecer una fuerte época de sequía habría significado el abandono de la región por parte

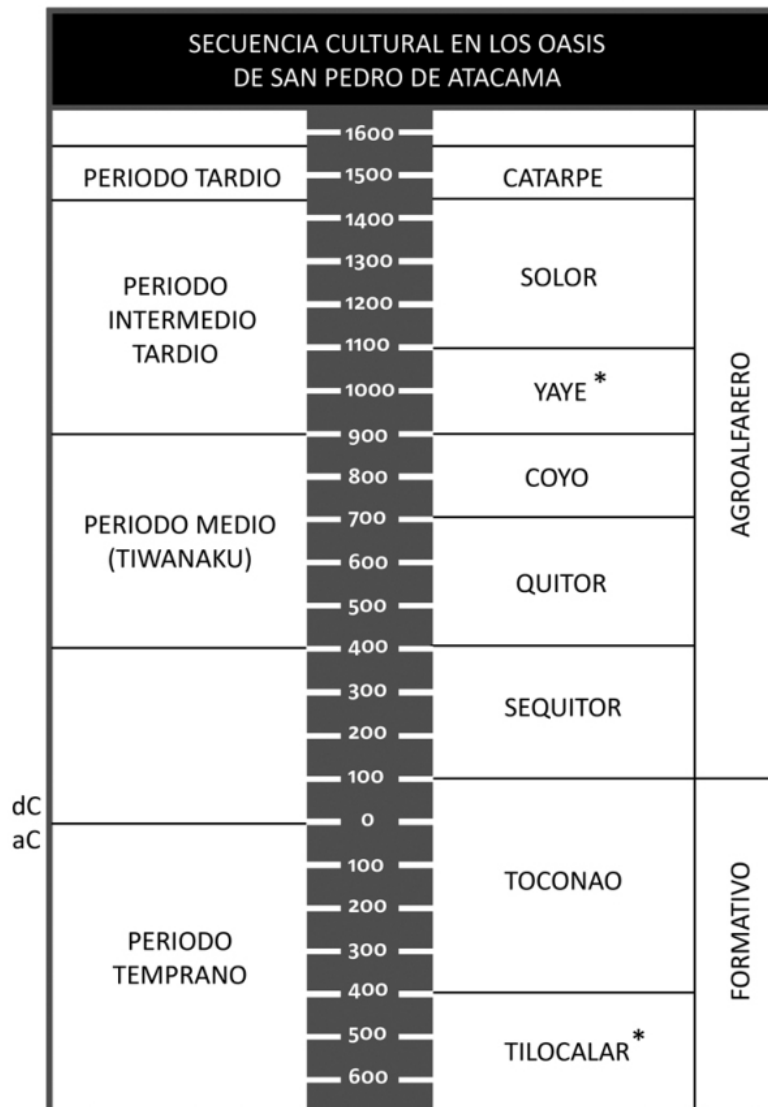


Figura 1.9: Periodificación de los Oasis de SPA. (* Fases no consideradas en la presente tesis).

de los grupos cazadores-recolectores hasta aproximadamente los 3 mil años A.P.

Formativo Tras este aparente “vacío” de evidencias, los oasis de SPA vuelven a ser habitados, tras una mejora en las condiciones medioambientales de la puna atacameña. Sin embargo, los grupos que ahora habitan la región se caracterizan por un modo de subsistencia en parte diferente, basado primordialmente en la cría de camélidos, la caza y la recolección (Núñez 1992, 2005; Llagostera 2004). A partir de este período, denominado Formativo (ca. 3200 años A.P.) surgen asentamientos más permanentes, observándose las primeras aldeas. Es también durante esta fase de la prehistoria atacameña, cuando se evidencian los primeros signos del cultivo de vegetales como la quínoa, la papa y el maíz (Núñez 2005; Llagostera 2004). Lo anterior hace pensar en una aparente reducción la movilidad, no obstante es en este mismo período cuando se observan los primeros ejemplos de intercambio y contacto con regiones vecinas.

Algunos autores reconocen para el final del período Formativo, una fase denominada Hipotética (hasta 2250 A.P.), debido a la escasez de material cerámico atribuible a dicho período (Tarragó 1976; Berenguer et al 1986). A esta fase se asocia el sitio de Toconao Oriente con fechados de 2530 años A.P. (Núñez 1976), lo que lo convierte en uno de los sitios más tempranos de los oasis de SPA con material bioantropológico en un relativo buen estado de conservación. Los estudios realizados con los cráneos de este sitio, sugieren que la población de Toconao Oriente presentaría una morfología craneal muy similar a la observada en los valles y quebradas de la zona de Arica, lo que sería indicativo de un origen común (Varela 1997). Sin embargo, resulta difícil contrastar dicha hipótesis debido a la ausencia de material óseo analizable proveniente de sitios más tempranos de la región de SPA. En este sentido el grupo representado en Toconao Oriente, pudiese ser descendiente de poblaciones previas que ya habitarían la zona, situación que no se puede descartar.

Se describe también para el final del Formativo a la fase Toconao (2250-1850 A.P.), la cual es caracterizada por las primeras evidencias e indicios de ocupaciones de los ayllus de SPA (e.g. Toconao, Quitar, Tular, Tchegar, Sequitor, Larrache, etc.). Esta fase se encuentra definida por la manufactura de una cerámica roja pulida y por algunos desarrollos incipientes de la tradicional cerámica “Negra Pulida” (Berenguer et al. 1986; Uribe 2002).

Agroalfarero Posterior a esta período de incipientes asentamientos permanentes, así como del desarrollo de cultígenos y utilización de camélidos, se describe un macro-período para la zona de SPA , caracterizado por la existencia de estados andinos en la región, aunque no de

manera continua (Tiwanaku y el Tawantinsuyo). Este macro-período⁵ se conoce como el Período Agroalfarero (Llagostera 2004), y se extiende desde los 1850 años A.P., hasta la conquista española alrededor del siglo XVI. Por tanto se inscriben en este período los horizontes Intermedio Anterior, Medio, Intermedio Tardío y Tardío, momentos durante los cuales las redes de intercambio e interacción alcanzan su apogeo en los Andes Centro-Sur.

Las redes de interacción e intercambio en las que se inserta la sociedad atacameña, permitieron que diversos productos, manufacturas, bienes, costumbres e ideologías ingresasen a los oasis de SPA. Es durante el Período Agroalfarero, cuando se afianzan los lazos de intercambio entre las distintas zonas del mundo andino centro-sur; Norte de Chile, Noroeste Argentino (NOA) y Sur de Bolivia. La primera etapa descrita para este período corresponde a la Fase Sequitor (1850-1550 años A.P.), la cual se caracterizaría por ser el génesis de la cultura atacameña propiamente tal, definiéndose el acervo material y simbólico local (Berenguer et al 1986). Ejemplo de lo anterior sería el aumento en la producción de la alfarería monocroma por excelencia de SPA: la cerámica “Negra Pulida”. Son también de esta fase, los primeros rastros de la utilización de parafernalia alucinógena más tradicional, como son las “tabletas de rapé” o más correctamente tabletas para el consumo de alucinógenos (Torres 1984). Aún cuando estos elementos todavía no muestran la fascinante iconografía Tiwanaku que los distinguirá en el futuro, ya empiezan a aparecer en otras materialidades los primeros elementos de la cultura Tiwanaku en San Pedro (Berenguer et al. 1986). Por su parte los estudios de afinidades biológicas y microevolución realizados con las poblaciones de esta fase, señalan que existiría continuidad con respecto al Formativo (Varela 1997; Varela y Cocilovo 2000). Es decir, que a pesar de que los datos arqueológicos indiquen la existencia de una amplia red de intercambio (Núñez 1992; Llagostera 2004), la variabilidad en la morfología craneofacial continua siendo baja y por tanto se supondría un escaso flujo génico interregional.

Período Medio A partir del 1550 A.P. la influencia de Tiwanaku en los oasis de SPA se va haciendo cada vez más notoria en los distintos sitios representativos de dicha época. En aquel momento, la cultura Tiwanaku ya empezaba a gestar el establecimiento de un estado andino con grandes redes de influencia económica-política y religiosa , incluyendo en éstas a los distintos grupos locales (Kolata 1993; Llagostera 1996; Berenguer 2000). Se ha discutido bastante acerca de tanto el carácter del estado Tiwanaku (imperio, movimiento ideológico, centro mercantil, entre otros), como también sobre el impacto que habría implicado sus interacciones con distintos grupos

⁵He decidido denominar al Período Agroalfarero como macro-período, debido a que engloba dentro de sí a otras periodificaciones (e.g. Período Medio, Período Intermedio Tardío, Tardío, etc.) así como a diferentes fases (e.g. Sequitor, Quito, Coyo, Solor, entre otras).



Figura 1.10: Parafernalia Alucinógena con Iconografía Tiwanaku (Tableta) e Iconografía Local (Tubo de inhalación) (Torres-Rouff 2008).

locales (Núñez 1992; Llagostera 1996, 2004; Berenguer 2000). Existe cierto consenso acerca de que la inserción de los oasis de SPA en las redes del estado altiplánico, habría supuesto un cambio cultural para los habitantes locales debido al fuerte impacto que habría tenido la ideología religiosa foránea (evidenciable especialmente en la iconografía de la parafernalia alucinógena) (Llagostera 2004; Berenguer 2000) (Fig. 1.10).

La inclusión de los atacameños en la orbita de influjo Tiwanaku conllevó la interacción con un aparataje ideológico diferente, proveniente de la ribera sur de lago Titicaca, el cual al parecer fue adoptado -al menos parcialmente- por las poblaciones locales (Kolata 1993; Berenguer 2000). De este modo, se logró articular un circuito de caravanas de llamas que unieron las distintas regiones de los Andes Centro-Sur (Altiplano, puna, oasis, costa, etc.).

La primera etapa del período de influencia Tiwanaku en SPA se ha llamado fase Quito (1550 A.P. – 1250 A.P.). Durante este momento de la prehistoria atacameña, la cerámica “Negra Pulida” se desarrolla en todo su esplendor, con nítidas representaciones antropomorfas presentes en varias piezas de alfarería (Tarragó 1976; Berenguer et al. 1986). Además se ha sugerido un sustantivo aumento poblacional para este período debido a la ocupación de todos los ayllus conocidos actualmente en SPA, no obstante aún no se ha llevado cabo un estudio paleodemográfico profundo en la región. Se evidencia para esta fase, la presencia de productos cerámicos atacameños en regiones lejanas, lo que ratificaría la inserción de los oasis en las rutas de intercambio. La segunda etapa de influencia Tiwanaku en SPA se ha denominado Coyo (1250 A. P. – 950 A. P.), y se habría singularizado por el auge de la influencia del estado altiplánico en la región. Se

observa un sostenido incremento en las relaciones mercantiles con otras regiones, así como una mayor influencia ideológica por parte de la cultura Tiwanaku. Entre los elementos arqueológicos diagnósticos para esta fase, destacan la paulatina desaparición de la cerámica “Negra Pulida”, la cual es progresivamente reemplazada por las cerámicas “Casi Pulida” y “Gris Pulida Gruesa” (Tarragó 1976). Es en esta fase, en la que se elaboran la parafernalia alucinógena más acabada y elaborada, logrando su mayor expresión simbólica (Berenguer et al. 1986). Del mismo modo, las técnicas artísticas en la manufactura de cerámicas, textiles y cestería, muestran también una notoria influencia Tiwanaku, así como una exquisita confección (Llagostera 2004). En general ambas fases, que definen al Período Medio en la región atacameña, han sido vistas como momentos de prosperidad e incremento en la calidad de vida para los habitantes de los oasis de SPA. Estudios osteológicos que compararon a grupos del período de influencia Tiwanaku con poblaciones previas y posteriores, encontraron un significativo aumento en la estatura y una mayor disponibilidad de recursos proteicos (Neves y Costa 1998; Costa et al. 2004). Al parecer, los ayllus de SPA se convirtieron en un lugar de importancia para el Estado Tiwanaku, debido a su condición privilegiada de oasis en medio del desierto (Berenguer y Dauelsberg 1989). De esta manera, se ha argumentado que los oasis de SPA participaron activamente en las estrategias de complementariedad reticular ya existentes en la región (Murra 1972), mediante los cuales el estado altiplánico accedió a recursos de otras regiones (complementariedad ecológica), a la vez que expandía su ideología y costumbres (Llagostera 1996). Lo anterior ha llevado a postular la posibilidad de movimientos de población altiplánica hacia los oasis de SPA, con el objetivo de que Tiwanaku asegurase su acceso a los recursos de interés (Berenguer y Dauelsberg 1989). Los estudios microevolutivos y de distancias biológicas realizados en la zona han entregado resultados discordantes. Por un lado, se ha señalado un incremento en la diversidad morfológica local, lo que podría estar apuntando a la llegada de colonos altiplánicos y/o a un aporte génico desde Tiwanaku a la población atacameña (Varela 1997; Varela y Cocilovo 2000). Se ha señalado también para la misma fase, la existencia de una menor distancia biológica entre los grupos atacameños con otras poblaciones del extremo Norte de Chile, así como también del NOA (Cocilovo y Rothhammer 1990, Varela 1997). Esto ha servido para sostener que la interacción entre los oasis de SPA y Tiwanaku no fue meramente ideológico-cultural, sino que también de carácter biológica. No obstante lo anterior, otros estudios osteológicos y de isótopos estables no han encontrado evidencia alguna de posibles migraciones o movimientos poblacionales desde el altiplano hacia SPA (Costa et al. 1995; Knudson 2004). De esta manera, se ha deducido que aunque el estado Tiwanaku pudo haber generado colonias en distintos puntos de su área de influencia, probablemente este no fue el caso de SPA (Knudson 2004). La evidencia entregada en aquella investigación muestra que aunque muchos individuos se encontraban asociados a ajueres funerarios con iconografía tiwanakota, estos no se criaron en las

riberas o cercanías del lago Titicaca, por lo que se trataría de individuos atacameños que habrían adoptado la iconografía e ideologías Tiwanaku (Knudson 2004).

Por otra parte, la evidencia arqueológica no permite clarificar esta situación (la llegada o no de migrantes y/o flujo génico), debido a que el fuerte intercambio existente en la región, genera que en los contextos convivan objetos de manufactura local como extranjera. No importando lo anterior, algunos autores han defendido la llegada de contingentes poblaciones Tiwanaku, mediante el análisis detallado de materialidades tales como textiles (Rodman 1992). La convivencia de conjuntos artefactuales de tradiciones locales y tiwanakotas ha sido interpretado como la presencia de dos grupos diferenciados conviviendo en un mismo espacio. Desde esta perspectiva, existiría una fuerte distinción étnica entre los habitantes de SPA, lo que tal vez se evidenciaría en las diferencias existentes entre ayllus (Fig. 1.11).

Con respecto a la controversia recién señalada, se podrían plantear al menos cuatro escenarios generales: 1) No hubo llegada de migrantes altiplánicos a los oasis de SPA, 2) existió flujo génico entre Tiwanaku y SPA, 3) la llegada de colonos Tiwanaku quienes no tuvieron flujo génico con los atacameños, a pesar de habitar el mismo territorio, y 4) el flujo génico con individuos tiwanakotas estuvo limitado sólo a ciertos segmentos de la población, como por ejemplo, sólo algunos ayllus.

Intermedio Tardío Alrededor del 950-1000 años A.P. el estado Tiwanaku que había articulado a parte del mundo andino súbitamente desapareció. Aunque aún se desconoce con claridad la causa del declive del estado altiplánico, el hecho es que con su destructuración, la red de intercambio que por aproximadamente 400 años unió los Andes Centro-Sur, también se fue en parte con él. Se inicia entonces lo que en la prehistoria de SPA se ha designado como Período Intermedio Tardío (PIT), momento caracterizado por el desarrollo de señoríos locales de naturaleza más autónoma. Frecuentemente se describe a este período por la simplificación en la confección artefactual e iconográfica. Al parecer los objetos adquieren un carácter más utilitario y sencillo que en la fase previa (Llagostera 2004). Se describe para este período a la fase Solor (950 A. P. – 500 A. P.), tipificada por la presencia de la cerámica de la roja pintada y la Dupont (Berenguer et al. 1986). Este período es también conocido como la fase de los desarrollos regionales debido a que como se mencionó anteriormente, los distintos ayllus de SPA desarrollaron características culturales locales y sin aparente influencia extranjera.

Se evidencia el desarrollo de una tradición cultural que rescata conjuntos simbólicos propios de los oasis, y que se evidenciaban escasamente desde los inicios del macro-período Agroalfarero. Junto con la anterior se ha señalado para este momento de la prehistoria atacameña un crecimiento demográfico (Schiapacasse et al. 1989) y un consecuente incremento en la tensión social, evidenciable en el aumento de la frecuencia de lesiones asociables a violencia interpersonal y la

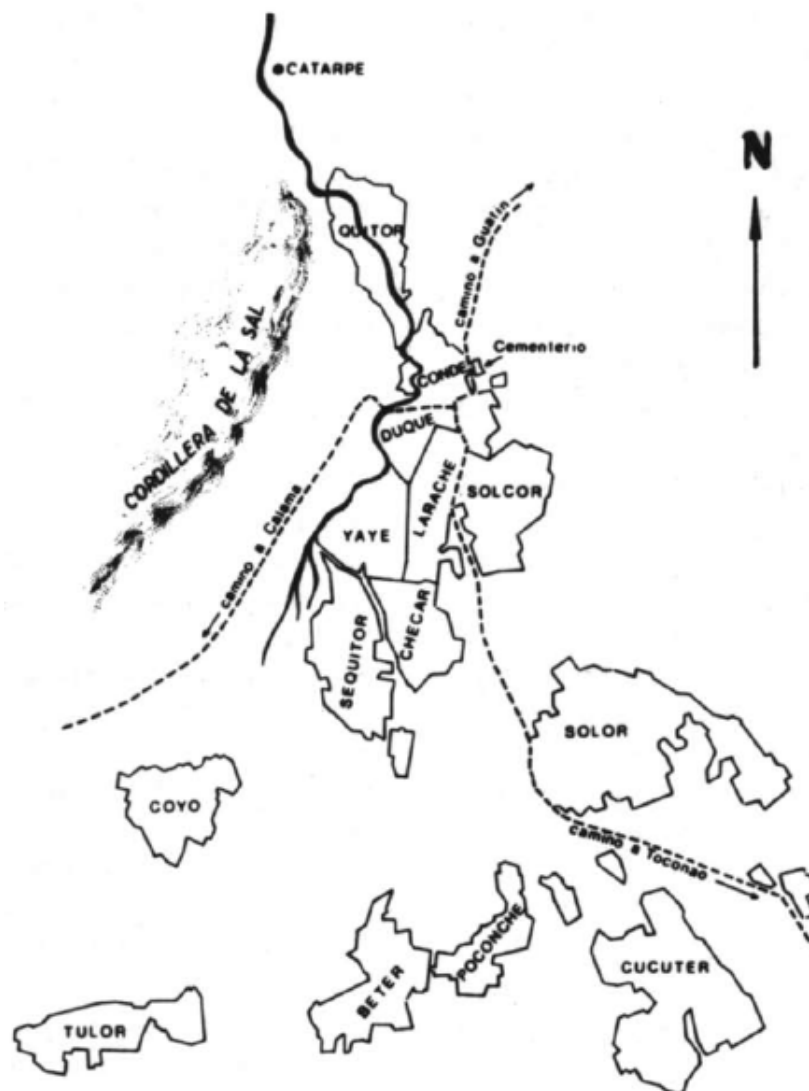


Figura 1.11: Ayllus de San Pedro de Atacama (Le Paige 1963).

construcción de fortificaciones (Torres-Rouff et al 2005). Algunos autores han sugerido que este aumento en la tensión social se habría debido al confinamiento espacial en el que se encontraban las poblaciones de los oasis de SPA, producto de un ciclo de sequía importante (Ortloff y Kolata 1993; Binford et al. 1997).

A pesar del declive de las redes de comercio e intercambio de la órbita Tiwanaku, esto no significó la total desaparición del contacto e interacción entre las regiones vecinas. Se evidencia para este período comunicación entre los oasis de SPA y otros puntos más distantes como la costa del Norte chileno y el NOA. Al parecer las recuas de llamas y los caravaneros continuaron recorriendo las rutas que conectaban a los oasis del desierto con la costa árida, el altiplano, la puna y las selvas orientales.

En relación a lo anterior, los estudios de afinidades biológicas han apuntado a una mayor heterogeneidad en el seno de las poblaciones de SPA. Los análisis craneométricos de este período han señalado la posibilidad de flujo génico con poblaciones del NOA y del Norte de Chile (Varela 1997; Varela y Cocilovo 2000). Destaca la asociación morfológica existente entre las grupos de SPA y las poblaciones coetáneas de Calama, lo que sugeriría fuertemente algún tipo de vínculo especial dentro de la red de intercambio (Varela 1997). Lo anterior se ve sustentado aún más por la homogeneidad cerámica y cultural de ambos territorios (Uribe 2002). Sin embargo, el pequeño tamaño muestral de estos estudios, dificultan la interpretación de estos resultados. Por tanto aún queda sin responder el tipo de interacciones establecidas entre las regiones vecinas a los oasis y éstos mismos, y como esto se relaciona con el aumento en la violencia interpersonal y la construcción de fortificaciones o pukaras en diversos ayllus; ¿conflicto interno y/o enemigos externos?.

Tardío Finalizando ya el macro-período Agroalfarero (550-600 años A.P.) en el llamado Período Tardío, los oasis de SPA son nuevamente insertados en la órbita de influencia de un estado Andino, en este caso el Inka. Parece ser que de manera similar a períodos y estados andinos anteriores (e.g. Tiwanaku, Wari, etc.), el Tawantinsuyo empezó paulatinamente a incorporar a otras pueblos y regiones en su esfera de dominio religiosa y político-económica, estableciendo y/o revitalizando nuevamente una extensa red de rutas de intercambio y transporte, denominadas en este caso “Camino del Inka” o Qhapaq Ñan. Para este período se describe a la fase Catarpe (500 A.P. – 414 A. P.), la cual se caracterizaría por la influencia del Inkanato en los oasis de SPA (Tarragó 1976; Berenguer et al. 1986). Esta fase corresponde al momento más corto de la prehistoria atacameña, ya que menos de un siglo después de su asentamiento, la llegada de los españoles durante el siglo XVI dismanteló su influencia (Llagostera 2004). Se sabe muy poco de este período, y la poca información que se tiene se sustenta en las construcciones dejadas por los incas (e.g. Tambos),

así como por relatos de corte etnohistórico. Se desconoce la influencia del Inka en la demografía de SPA, no obstante el corto tiempo de duración de su ocupación disminuyen considerablemente su posible impacto.

1.4.3. Interacción y Movilidad en los Andes Centro-Sur

Diversos planteamientos se han planteado acerca de los orígenes de la población de los oasis de SPA a lo largo de su prehistoria. En este sentido, gran parte de la discusión se ha centrado en la posibilidad de una continuidad genética en sus habitantes a través del tiempo (Torres-Rouff 2002), o si por el contrario existe evidencia para sostener la presencia de colonias o migraciones altiplánicas (Varela 1997; Varela y Cocilovo 2002). En este sentido, se ha intentado dilucidar a través de distintos métodos (craneometría lineal, isótopos estables, iconografía, entre otros.), si es realmente factible detectar una migración y/o miscegenación poblacional asociada con la aparición de elementos culturales de origen altiplánico en los oasis de SPA. En este sentido, se sostendría que en base a las históricas relaciones de intercambio e interacción entre las distintas regiones de los Andes Centro-Sur, existiría un sustrato para el flujo de migrantes en distintos momentos de la prehistoria atacameña. En relación a lo anterior, es importante tener en cuenta que la evaluación arqueológica de la zona de SPA, se ha vinculado primordialmente con los procesos acontecidos en la zona de los Andes Centrales o Nucleares, y en especial relación la sub-área Circuntiticaca (Uribe 2002). De esta forma, usualmente se vería al desarrollo cultural de los oasis de SPA, en base al traslape de las influencias foráneas (e.g. Tiwanaku o el Inka) sobre los grupos y desarrollos de tradición local, y por la probable incorporación al territorio de nuevos grupos de origen altiplánico (Varela 1997; Varela y Cocilovo 2002). Por tanto, la visión arqueológica tradicional ha interpretado a gran parte de la prehistoria atacameña como desarrollos locales fuertemente influidos por otros grupos de la prehistoria andina. Estos grupos y los habitantes de SPA habrían establecido diversas formas y dinámicas de interacción, sustentadas supuestamente en una eco-complementariedad generalizada, que se caracterizaría por una alta movilidad andina mediante mecanismos tales como el caravaneo, el establecimiento de ferias, un patrón de asentamiento de núcleo-periferia y/o la fundación de colonias (Núñez y Dillehay 1978). De este modo y en base a los planteamientos de Murra (1972) sobre el “control vertical de múltiples pisos ecológicos”, habitualmente se ha tendido a entender a las sociedades residentes de las tierras altas circunlacustres, como señoríos o cabeceras altiplánicas con necesidades de explotar diferentes nichos ecológicos, y que por lo cual tuvieron que establecer unidades productivas a distancia para conseguir los recursos que requerían. Por su parte, estas unidades de producción asentadas en otros pisos ecológicos, han sido usualmente entendidas como colonias y/o pueblos que adoptaron costumbres comunes,

los cuales supuestamente mantuvieron relaciones y vínculos con su lugar de origen. Estableciendo a la vez complejos mecanismos de complementariedad y reciprocidad económicas. Así, constituirían un dominio territorial discontinuo a modo de “archipiélagos”, donde las diversas colonias conformarían “islas”, permitiendo el asentamiento simultáneo en un mismo nivel ecológico, de colonias de diversos orígenes o de poblaciones de desarrollo local. No obstante, muchos de estos planteamientos han sido cuestionados tanto por la falta de evidencias en algunos casos, como por la aparente pasividad de las poblaciones locales frente al influjo extranjero (Uribe 2002). Por lo tanto, resulta factible plantear que el debate se ha centrado en si existe evidencia arqueológica que se sustente a los documentos etnohistóricos (e.g. Murra 1972), los cuales apuntan acerca de la posible existencia de colonias y/o grupos de migrantes altiplánicos a otras regiones. Así, para los distintos períodos de la secuencia cronológica de los oasis existirían distintas causas que explicarían la posible llegada individuos foráneos a la región de los oasis de SPA. Así, por ejemplo el desarrollo de Estados Altiplánicos tales como Tiwanaku (Período Medio) o el Tawantinsuyo (Período Tardío), habrían supuesto la necesidad de estos grupos por acceder a recursos no disponibles en sus zonas nucleares, lo que los habría llevado a obtenerlos de zonas periféricas. Esto habría a su vez conllevado la llegada de migrantes con la finalidad de asegurarse el acceso de dichos recursos a través de distintos medios, como son el intercambio, la religión, la ideología, la violencia etc. Por otra parte, se ha sostenido que para el Período Intermedio Tardío, grupos de tierras altas que habrían descendido a otras regiones como consecuencia de la desarticulación de Tiwanaku y la aparición de los denominados señoríos altiplánicos (Berenguer y Dauelsberg 1989).

1.5. Bioarqueología

-La deformación del cráneo tiene mucha importancia en arqueología; ella sirve para determinar los diferentes tipos culturales y ayuda también a establecer la sucesión cronológica de las culturas- J. Tello, La medicina y la antropología en la educación médica. Revista Universitaria Vol. I:121. San Martín, Lima (1928).

Aunque el termino bioarqueología originalmente fue acuñado en el Reino Unido para referirse al estudio de la zooarqueología (Clark 1972), ha adoptado otros significados fuera de las islas británicas y en especial en los Estados Unidos. Allí, la bioarqueología refiere al estudio científico de los restos humanos encontrados en contextos arqueológicos (Buikstra 1977), siendo por tanto más o menos equivalente a lo que también se conoce como osteoarqueología o paleo-osteología. No obstante lo anterior, quizás un significado más amplio de bioarqueología sería la utilización de un conjunto de técnicas biológicas en material arqueológico con la finalidad de conocer más acerca

de las poblaciones del pasado. Esta última definición es más abarcadora, pues engloba dentro de sí al estudio de cualquier resto biológico encontrado en contextos arqueológicos, tales como restos humanos, animales (zooarqueología), plantas (arqueobotánica), entre otros. Ahora bien, en la práctica los bioarqueólogos utilizan usualmente los restos humanos con la finalidad de responder distintas interrogantes acerca de la vida de las poblaciones del pasado, a través de la integración de evidencia biológica y arqueológica (Buikstra y Beck 2006). Vale decir, que lo que se busca es entretelar los datos provenientes de ambos aspectos, con el fin de conseguir un conocimiento más detallado de la vida de las poblaciones del pasado. Los análisis de los restos esqueléticos de un sitio, pueden aportarnos distintas clases de información, entre las que destacan los “cuatro pilares de la identificación”: sexo, edad, ancestría y estatura, así como también patrones de actividad, estatus nutricional y de salud, entre otras (Larsen 1997). Este tipo de información puede ser obtenida a través del minucioso análisis de las osamentas, y difícilmente por otras técnicas arqueológicas como por ejemplo la iconografía, los patrones de asentamiento o la fragmentería cerámica. Además, se ha señalado que el enfoque bioarqueológico junto con su conjunto de técnicas, pueden ser utilizadas para investigar símbolos culturales inscritos en el cuerpo, como son los tatuajes o la DIC (Torres-Rouff 2003). Sirviendo así, como medio de análisis para problemáticas bioculturales del pasado.

Para la bioarqueología, los restos humanos son vistos como una fuente de datos privilegiada, desde donde podemos obtener tanto información individual, como también de la interacción entre esta persona y la sociedad a la que perteneció. En este mismo sentido, la bioarqueología se presenta desde sus inicios como una disciplina integradora que busca reunir en su actuar información proveniente principalmente de la antropología física e interpretación arqueológica, sin dejar de lado no obstante las informaciones provenientes de otras disciplinas como la biología, la antropología sociocultural, la historia, la lingüística, etc. (Buikstra y Beck 2006). Por tanto, el enfoque bioarqueológico resulta realmente adecuado al momento de tratar de responder preguntas concernientes a la DIC en los oasis de SPA. Esto se debe a que la DIC se nos presenta como un fenómeno tanto biológico, como cultural en extremo evidente, y por tanto se hace necesario un enfoque abiertamente biocultural como el que aporta la bioarqueología. En esta misma línea, muchos investigadores han expresado su preocupación acerca de la falta de un enfoque más integrador para enfrentar los cambios acontecidos en las sociedades humanas a lo largo del tiempo (McElroy 1990; Manríquez 2010). Se ha señalado que un entendimiento más global y apropiado de los fenómenos humanos, requiere de un marco conceptual multidisciplinario que conjugue los factores culturales y biológicos participantes de la evolución humana (Shennan 2008; Manríquez 2010). Bajo esta óptica, el enfoque bioarqueológico se adecuaría bastante bien a la idea de “evolución biocultural”, concepto que encapsula en su interior la integración de los componentes biológicos y

culturales en pos del entendimiento de las poblaciones humanas (Dufour 2006; Manríquez 2010). Lo anterior se evidencia nítidamente en la sucesión existente entre la aparición de novedades evolutivas morfo-funcionales en nuestro linaje (e.g. bipedalismo, encefalización, sociabilización, lenguaje, entre otras) y súbitos cambios culturales (e.g. dominio del fuego, domesticación de plantas y animales, aparición de la expresión artística, etc.) (Manríquez 2010). De esta forma se busca evitar las “trampas” culturalista o genético-determinista, las cuales se reniegan mutuamente de los factores biológico y cultural respectivamente.

La DIC es un fenómeno biocultural clarísimo, y que requiere por tanto de una perspectiva biocultural que integre a la vez los factores biológicos implicados en esta práctica cultural, así como los factores culturales asociados a esta modificación corporal. Personalmente considero, que la perspectiva bioarqueológica cumple con dichas características, siendo el punto de vista adecuado para valorar a la DIC en un contexto adecuado.

1.5.1. DIC y Morfometría

El registro bioarqueológico de Sudamérica presenta gran cantidad de individuos deformados de distinto tipo (Dembo e Imbelloni 1938). Aunque los restos humanos que presentan DIC han sido estudiados desde hace bastante tiempo, la mayor parte de los trabajos se han basado en enfoques tipológicos (clasificación en tipos deformatorios o categorías) (Dembo e Imbelloni 1938; Neumann 1942). Básicamente, se clasificó a los cráneos en grupos de similitud a partir de un análisis morfoscópico, donde toda la variación existente al interior de cada uno de estos grupos fue reducida a un par de cajones estancos, eliminando así la posibilidad de un análisis más detallado y sutil. Más aún, el carácter cualitativo de la clasificación, hace que se encuentre sujeta a una gran cantidad de error del observador, imposibilita la posibilidad de estudiar la variación interna dentro de un tipo y dificulta la comparación de resultados, pues las clasificaciones pueden ser diferentes o los criterios de clasificación pueden variar. Estudios más recientes de este tipo en general se enfocan la variación de las frecuencias de los tipos deformatorios a lo largo del tiempo (Torres-Rouff 2002). Por otra parte, los estudios morfométricos realizados con población con DIC presentan otros problemas. Algunos utilizan el criterio tipológico para comparar a las clasificaciones tipológicas como grupos naturales, y aunque otros no las utilicen, se encuentran de todos modos sujetos a las limitaciones propias de la morfometría lineal. En resumidas cuentas, la gran mayoría de los trabajos acerca de la DIC utilizan la determinación visual para clasificar a los cráneos deformados, y luego estos se comparan guiados por diversas hipótesis (e.g. Dembo e Imbelloni 1938; Neumann 1942; Antón 1989; Torres-Rouff 2002). La morfometría tradicional también ha utilizado dicha clasificación, especialmente a la hora de intentar dar cuenta de los efectos de la DIC sobre el

crecimiento y desarrollo craneofacial (e.g. Antón 1989; Varela 1997; Varela y Cocilovo 2000). Más recientemente han surgido unas pocas investigaciones diferentes que a través herramientas morfométricas-virtuales más modernas (e.g. Análisis Elíptico de Fourier, Análisis de Elementos Finitos y Morfometría Geométrica) han intentado dar cuenta de la variación morfológica de la DIC (Cheverud et al. 1992; Kohn et al. 1993; Frieß y Baylac 2003; Manríquez et al. 2006; Pérez 2006).

En este sentido, las ventajas comparativas de la morfometría geométrica se hacen patentes al momento de estudiar la DIC. En primer lugar, permiten una descripción rigurosa de la forma, a la vez que permiten trabajar cuantitativamente con dichas variables a través de la herramientas de la estadística multivariada, y más aún visualizar los resultados. Lo anterior nos permite responder clásicas preguntas asociadas al fenómeno de la DIC -: ¿Cual es el efecto de la DIC sobre la arquitectura craneofacial?, ¿Cómo covarían los distintos módulos del cráneo bajo el efecto de la DIC?, ¿Existen diferencias significativas en el patrón deformatario entre distintas poblaciones?, ¿Cómo varía la DIC durante la ontogenia individual?, ¿Cómo afecta la DIC a otras estructuras?, etc.

Capítulo 2

Problema de Estudio

2.1. Planteamiento del Problema

Las poblaciones humanas de los oasis atacameños estuvieron bastante marcadas por la influencia de pueblos foráneos, los que fueron integrados de distinta manera en la cultura local. La influencia de grupos vecinos marcan las distintas fases o períodos del desarrollo cultural. Lo anterior es evidenciable a partir de las distintas materialidades foráneas (o al menos de estilo extranjero) presentes en distintos contextos y períodos de la prehistoria de SPA, así como por la presencia de bienes de origen atacameño en otras regiones geográficas. La compleja red de intercambios existente en la región andina y en la cual SPA participó como punto nodal de caravanas provenientes del Altiplano, el Noroeste Argentino (NOA), la costa, etc. y donde las poblaciones atacamañenas participaron activamente (Núñez 1992; Berenguer y Dauelsberg 1989; Llagostera 1996, 2004).

No obstante la evidente existencia de una red de intercambio de materialidades a lo largo y ancho de los Andes Centro-Sur, esto no supone necesariamente el flujo de poblaciones a las distintas regiones donde se encuentran dichos bienes. El constante movimiento de artículos de interés no implica necesariamente el movimiento de población migrante al lugar de origen de dichos objetos, sino que existe también la posibilidad de que únicamente fuesen los caravaneros quienes se desplazasen temporalmente. Esto significaría que el contacto con otras regiones hubiese implicado únicamente el traspaso de objetos de intercambio, sin que existiese un flujo génico interpoblacional notorio. En este sentido, los distintos estudios de microevolución y afinidades biológicas realizados con muestras de SPA entregan resultados contradictorios (Varela 1997; Varela y Cocilovo 2000; Costa et al. 1995; Torres-Rouff 2002). Algunos de ellos sugieren un mayor flujo génico entre las poblaciones de los oasis de SPA y otros grupos (Varela 1997; Varela y Cocilovo 2000), mientras

que otras investigaciones indicarían un mayor aislamiento de los grupos atacameños (Costa et al. 1995; Torres-Rouff 2002). Cabe recalcar que por más que la morfología craneofacial sea usualmente utilizada para estudios de afinidades biológicas (e.g. Howells 1973, 1989; Neves 1988; Lahr 1996; White et al. 2003; González-José et al. 2003; Neves et al. 2005), su real validez como instrumento para estudios microevolutivos ha sido cuestionada (Carlson y van Gerven 1977; Collard y Larsen 1997; Collard y Wood 2000; Hlusko 2004; Williams et al. 2005). Lo anterior se debe a diversos fenómenos biológicos que participan en la conformación de un fenotipo complejo como es el cráneo. El manifiesto efecto del ambiente sobre la morfología craneal en fenómenos tales como la plasticidad fenotípica, las normas de reacción, presiones biomecánicas diferenciales, etc. (Schlichting y Pigluicci 1998; Pigluicci 2001; Pigluicci y Preston 2004), dificultan enormemente la distinción entre el componente génico y ambiental en el cráneo. Más aún, el comportamiento modular de las distintas regiones de esta estructura (Carlson 2004), así como el fenómeno de integración morfológica, complican aún más el panorama, pues las presiones anteriormente nombradas pueden actuar diferencialmente sobre cada modulo, y generar morfologías diferentes producto de la covariación (Lieberman 2011). Además la dificultad de estimar la heredabilidad del cráneo en población humana y la necesaria utilización de este parámetro, empaña aún más la situación (Martínez-Abadías 2007; Krapivka 2012).

La presente tesis tiene por objetivo el análisis cuantitativo del patrón de variación craneal en las poblaciones de SPA a lo largo de su secuencia cultural. Se desea poner a prueba la hipótesis de que existe un patrón morfológico similar en la DIC presente en las poblaciones de SPA y los grupos de otras regiones andinas, durante los momentos de la prehistoria atacameña en los que tradicionalmente se ha propuesto contactos interregionales. Se pretende así contribuir a la caracterización de las posibles relaciones e interacciones entre los habitantes de los oasis de SPA y otras regiones, durante las diferentes fases de su prehistoria, utilizando la DIC como marcador y no únicamente la distancias craniométricas convencionales. Se utilizó la DIC debido a que diversos estudios han señalado a está práctica de modificación corporal como un marcador de identidad cultural (Torres-Rouff 2002; 2003; 2007), debido a su alta visibilidad y notoriedad, siendo además permanente durante toda la vida de un individuo. La DIC es una práctica cultural que modifica la biología (en este caso la morfología craneofacial) de los individuos a los que se les practicó. Por lo que resulta ideal para trazar relaciones de interacción y movilidad, debido a que a diferencia de otras materialidades no puede pasar de mano en mano, pues su soporte material es el mismo cuerpo de los individuos. La DIC ha sido considerada un signo de pertenencia constante a un grupo o comunidad (Torres-Rouff 2003). Por lo demás, la población de SPA presenta una alta frecuencia de DIC durante toda su prehistoria, siendo cercana al 50 % (Torres-Rouff 2007). Para llevar a cabo el objetivo recién mencionado, **se realizó una**

comparación diacrónica entre los distintos períodos de la prehistoria atacameña, con la finalidad de establecer si existió una continuidad en la tradición de DIC. Junto con lo anterior, se llevó a cabo una comparación sincrónica entre distintas regiones de SPA, para ver si existieron similitudes morfológicas o no, entre distintas regiones de los Andes Centro-Sur.

Se esperaba encontrar una mayor homogeneidad en el patrón deformatorio para las poblaciones de los períodos iniciales de la prehistoria de SPA (Formativo y Agroalfarero Inicial), y una mayor heterogeneidad en dicho patrón para el Período Medio debido a la influencia de la cultura Tiwanaku (es de esperar que algunos individuos presenten una morfología deformatoria más semejante a los tiwanakotas). Para el PIT, se esperaba una considerable disminución del patrón deformatorio asociado a Tiwanaku, pero una mayor diversidad morfológica debido al desarrollo de señoríos locales. A pesar de lo anteriormente señalado, existe la clara conciencia que a través del estudio de la DIC no se podrá descartar la imitación por parte de la población local del patrón deformatorio foráneo (e.g. Tiwanaku) sin que esto implique flujo génico ¹. No obstante, este resultado también sería de vital importancia pues nos generaría nuevas preguntas acerca del porqué de esta imitación y/o adopción cultural (e.g. estatus, ideología, identidad, etc.). De todos modos, se calcularon distancias entre los individuos no deformados de cada sub-muestra. De coincidir que el patrón deformatorio local de SPA es semejante al existente en otras regiones, así como que las distancias biológicas existente entre los no deformados son mínimas, se podría sostener la posibilidad de flujo génico y/o influencia cultural. Aunque sería ideal realizar los análisis recién mencionados parcelando por sexo, pues podrían existir diferencias en la movilidad ligadas a prácticas de patri o matrilocidad, el escaso tamaño muestral no permitió esta clase de comparaciones. En resumidas cuentas, se intentó conocer si los cambios en el patrón de la DIC, se encuentran asociados a los cambios socioculturales evidenciables en la secuencia cronológica de SPA, lo cual podría relacionarse con cambios en la composición demográfica de la población atacameña debido y/o a contactos con otras regiones.

2.1.1. Relevancia

- **Bioantropológica:** El presente estudio es un aporte hacia una mejor comprensión de los patrones de variación morfológica existentes en la DIC generada en poblaciones del Norte chileno y del altiplano boliviano. Además la utilización de la Morfometría Geométrica en esta temática, puede estimular el desarrollo de nuevas preguntas relacionadas con el tema, como

¹En este sentido, nuestros datos no permiten elaborar inferencias acerca del grado de geneticidad que explica el patrón de variación craneana, y por tanto usarse como estimador filogenético.

por ejemplo preguntas de carácter morfo-funcional: ¿Cómo afecta la DIC a la integración morfológica del cráneo?, ¿Cómo afecta la DIC a los distintos módulos craneofaciales?, ¿Afecta la DIC a la postura y marcha?, ¿Cual es el efecto de la DIC sobre el desarrollo y crecimiento del encéfalo?, entre otras.

- **Bioarqueológica:** esta tesis se inserta de lleno en problemáticas arqueológicas ampliamente discutidas para los oasis de SPA, como son las relaciones establecidas entre los atacameños y otro grupos de los Andes Centro-Sur. Uno de los objetivos primordiales de esta tesis consistió en intentar desentrañar en parte, el tipo de interacciones establecidas (e.g. migración, adopción cultural, etc.) entre las poblaciones de los oasis de SPA a lo largo su prehistoria y otros grupos humanos de las regiones vecinas, desde una perspectiva bioarqueológica. Para esto se consideró a la DIC como un símbolo de identidad o adscripción a un grupo (e.g. social o étnico), al que se pertenecía por nacimiento y no por estatus adquirido. En este sentido, se pretendió contribuir al debate aportando con evidencia nueva proveniente de metodologías novedosas y pocas veces aplicada antes en esta región.
- **Clínica:** Se añade a lo anterior, una relevancia de carácter clínico, debido que esta tesis nos permitió aproximarnos a algunas de las consecuencias morfo-funcionales de la DIC, mediante la cuantificación y descripción de sus variables de la forma. Esto último es relevante, pues se ha sugerido que la DIC podría servir como “modelo extremo” de alteraciones craneofaciales (Manríquez et al. 2006; Salinas 2010). Por lo demás, la utilización de las herramientas de la Morfometría Geométrica pueden incentivar su uso en otros contextos, como en la comprensión de patrones ontogénicos de la morfología craneofacial (O’Higgins y Jones 2002) y dental (Bernal 2007), el análisis clínico de individuos con alteraciones normales en el patrón de crecimiento y desarrollo (Chang et al. 2005) y su aplicación en odontología (Singh et al. 2000; Singh et al. 2005; Díaz y Manríquez 2006).

2.1.2. Hipótesis

- **H0:** No existen un patrón morfológico similar en la DIC presente entre las poblaciones de SPA, y los grupos de otras regiones andinas durante los distintos períodos de la prehistoria, existiendo únicamente una continuidad morfológica en la DIC desde el Formativo hasta el Período Tardío de la región atacameña.
- **H1:** Existen un patrón morfológico similar en la DIC presente en las poblaciones de SPA, y los grupos de otras regiones andinas, durante los momentos de la prehistoria en los que

tradicionalmente se ha propuesto contactos interregionales (e.g. patrón deformatorio similar con la muestra altiplánica durante el Período Medio, o con la muestra ariqueña durante el PIT).

2.1.3. Objetivos

General

Conocer el patrón de DIC en poblaciones prehispánicas de SPA provenientes de los Períodos Formativo, Medio e Intermedio Tardío y comparar dicho patrón entre las distintas fases de la prehistoria atacameña y con otras regiones de los Andes Centro-Sur.

Específicos

1. Estimar sexo y edad mediante técnicas morfoscópicas estándar.
2. Generar un mapa de hitos anatómicos que abarque la región de interés a estudiar de los cráneos de distintos períodos y lugares, tanto para deformados como no-deformados.
3. Comparar los patrones de variación morfológica en cráneos deformados y no-deformados tanto diacrónicamente (períodos de la prehistoria atacameña) como sincrónicamente (diferentes regiones de los Andes Centro-Sur).
4. Comparar los niveles de integración morfológica en cráneos deformados y no-deformados, para así conocer el efecto de esta modificación corporal sobre la biología de los individuos a los cuales se les practicó.
5. Contribuir a la revalorización del patrimonio bioantropológico existente en las colecciones osteológicas prehispánicas de nuestro país, así como a su estudio científico.

2.2. Diseño de Investigación

2.2.1. Muestra

Se utilizaron los registros fotográficos laterales izquierdos (en su defecto derechos) de **280 cráneos provenientes del Norte de Chile** (Fig. 2.1), en específico de los oasis de San Pedro de Atacama, el altiplano boliviano, Calama y San Miguel de Azapa (depositados en el Museo Arqueológico del R.P.G. Le Paige, el Musée de L'Homme en Paris y el Museo Arqueológico San Miguel

de Azapa, respectivamente). Estos documentos fotográficos se encuentran a su vez resguardados en el Laboratorio de Morfometría Geométrica, ubicado en el Programa de Genética Humana del ICBM de la Universidad de Chile. Se estableció una muestra representativa de cráneos deformados y no-deformados de la prehistoria atacameña de los períodos Formativo, Medio, Intermedio Tardío y Tardío. Así como también de otras regiones del norte chileno (Arica) para los mismos períodos, y del altiplano boliviano (Tiwanaku). Esta muestra se encuentra resguardada en las siguientes instituciones:

1. **Museo Arqueológico del R.P.G Le Paige, San Pedro de Atacama (Chile):** gran parte de esta colección osteológica humana se encuentra conformada por cráneos exhumados por el S. J. Gustave Le Paige y proviene de contextos funerarios de diversos ayllus de SPA. Estos restos se componen de cráneos de subadultos y adultos masculinos y femeninos. Aproximadamente la mitad de éstos presenta DIC y un porcentaje menor se encuentra asociado a su mandíbula. Se suma a esta colección los restos esqueléticos recuperados por A. Llagostera y A. A. Costa en 4 sitios arqueológicos (Solador 3 Sardio, Coyo 3, Quitor 6 Tardío y Toconao Oriente), los cuales se encuentran bien contextualizados con sus materiales culturales asociados. Las fotografías de estas colecciones se obtuvieron como parte del proyecto Anillos ACT-96 *“Interactions and human mobility in pre-hispanic population of Northern Chile: an integrative approach for the Social Sciences using biomedical, genetic, chemical and mineralogical markers”* (2010-2011).
2. **Musée de l’Homme, París (Francia):** Las colecciones osteológicas humanas presentes en este museo proviene de gran parte del mundo, siendo en su mayoría cráneos descontextualizados, y con limitada información geográfica disponible. De las colecciones resguardadas en dicho museo, se utilizaron las provenientes del sitio boliviano de Tiwanaku, las cuales se utilizarán como control, puesto que presentarían el patrón deformatorio característico de las poblaciones tiwanakotas, y que permitirían por tanto, distinguir si parte o no de la población de SPA presentaba dicho patrón deformatorio. Estas fotografías se tomaron como parte del proyecto de cooperación científica bilateral Ecos-Conicyt *“Les découvertes archéologiques de la mission scientifique de Georges de Créqui-Montfort et d'Eugène Sénéchal de la Grange (1903) dans la nécropole de Calama (Désert d'Atacama, Chili)”* (2011).
3. **Museo Arqueológico San Miguel de Azapa, San Miguel (Chile):** Sus colecciones osteológicas se componen de más de un siglo de investigaciones y excavaciones en la zona. Al igual que en SPA, las condiciones medioambientales propicias permitieron la preservación de gran cantidad de materiales arqueológicos y restos bioantropológicos. Se aprovechó el hecho

de que estudios anteriores llevados a cabo por el Laboratorio de Morfometría Geométrica trabajaron con muestras de Arica y Azapa (Manríquez et al. 2006), para ver si el patrón de DIC coincide o no con el existente en SPA. En este sentido se seleccionó muestra de los períodos Formativo, Medio (fases Cabuza y Maytas) y PIT. De especial interés fue la comparación entre las muestras del Período Medio, ya que en ambas regiones se ha evidenciado la influencia Tiwanaku. Las fotografías de esta región se colectaron como parte del proyecto Fondecyt 1050279 “*Patrones de Deformación Intencional del Craneo en Poblaciones Prehispánicas de Arica: Análisis de Morfometría Geométrica con uso de Telerradiografía Craneofacial*” (2005).

Los criterios de **inclusión** para las fotografías fueron:

- Muestras de cráneos de individuos de ambos sexos y adultos, con cierre evidente de la sincondrosis esenooccipital y/o erupción del tercer molar definitivo (Powell y Brodie 1963; Hillson 1996).
- Muestras que presenten una conservación suficiente de las relaciones morfológicas cráneo-faciales.
- Muestras con ausencia de evidentes patologías y/o traumas craneofaciales.
- Muestras que presenten una integridad adecuada de las estructuras morfológicas que definen los hitos anatómicos homólogos en las fotografías con norma lateral.

Los criterios de **exclusión** fueron cualquier muestra que contradigan alguno de los criterios de inclusión, tales como:

- Individuos infantiles, de sexo desconocido, con solución de continuidad en alguna de sus estructuras anatómicas, o fragmentados.
- Individuos con evidentes patologías y/o traumas craneofaciales que pudiesen alterar la morfología craneal de manera notoria.
- Fotografías de escasa nitidez para distinguir hitos homólogos (e.g. fuera de foco) o con evidentes distorsiones por ampliación o deformación.
- Fotografías no alineadas en el plano de Frankfurt en norma lateral.

Origen	Arica	Calama	Altiplano Boliviano	Alto Loa	Pica	SPA	Total
N	82	14	27	16	8	133	280
Masculino	31	3	13	6	1	56	110
Femenino	44	11	14	10	6	74	159
Indeterminado	7	0	0	0	1	3	11
Deformado	38	11	22	13	4	65	153
No-deformado	44	3	5	3	4	68	127
Arcaico	13	0	0	0	0	0	13
Formativo	20	0	0	0	0	17	37
Medio	34	0	27	0	0	84	118
PIT	6	14	0	16	8	25	69
Tardío	8	0	0	0	0	5	13

Figura 2.1: Muestra utilizada en la presente tesis.

2.3. Método

Básicamente el flujo de trabajo estándar en Morfometría Geométrica se puede resumir en la siguiente diagrama de flujo (Fig. 2.2):

2.3.1. Obtención del dato primario

Se tomaron fotografías en seis vistas normalizadas (anterior, inferior, superior, lateral derecha, lateral izquierda y posterior) utilizando una cámara fotográfica **Canon SLR digital EOS Rebel XS**, con un lente **Canon EF 100MM F/2.8 MACRO USM**. La cámara fue montada sobre un trípode a 1,5 metros de distancia del cráneo. Este último, fue posicionado de acuerdo al plano de Frankfurt, mediante la utilización de niveles. El cráneo se orientó lateralmente de acuerdo a la sutura sagital y frontalmente de acuerdo al punto craneométrico de Porion. Junto al cráneo y alineada también se colocó una escala metálica de 15 centímetros. Para no tener distorsiones o deformaciones asociadas a problemas de alineamiento de los especímenes, se siguieron todas las recomendaciones descritas en Zelditch et al. (2004). El sexo y edad fueron estimados siguiendo utilizando **técnicas morfoscópicas estándar** y ampliamente utilizadas en bioarqueología para estimar estos parámetros a través de la morfología craneal (Buikstra y Ubelaker 1994; Walrath et al. 2004).

Procesamiento del dato primario

Los datos morfométricos fueron colectados como **coordenadas 2D** de hitos anatómicos homólogos mediante la utilización del programa **tpsDig v. 2.16** (Rohlf 2010). En cada cráneo

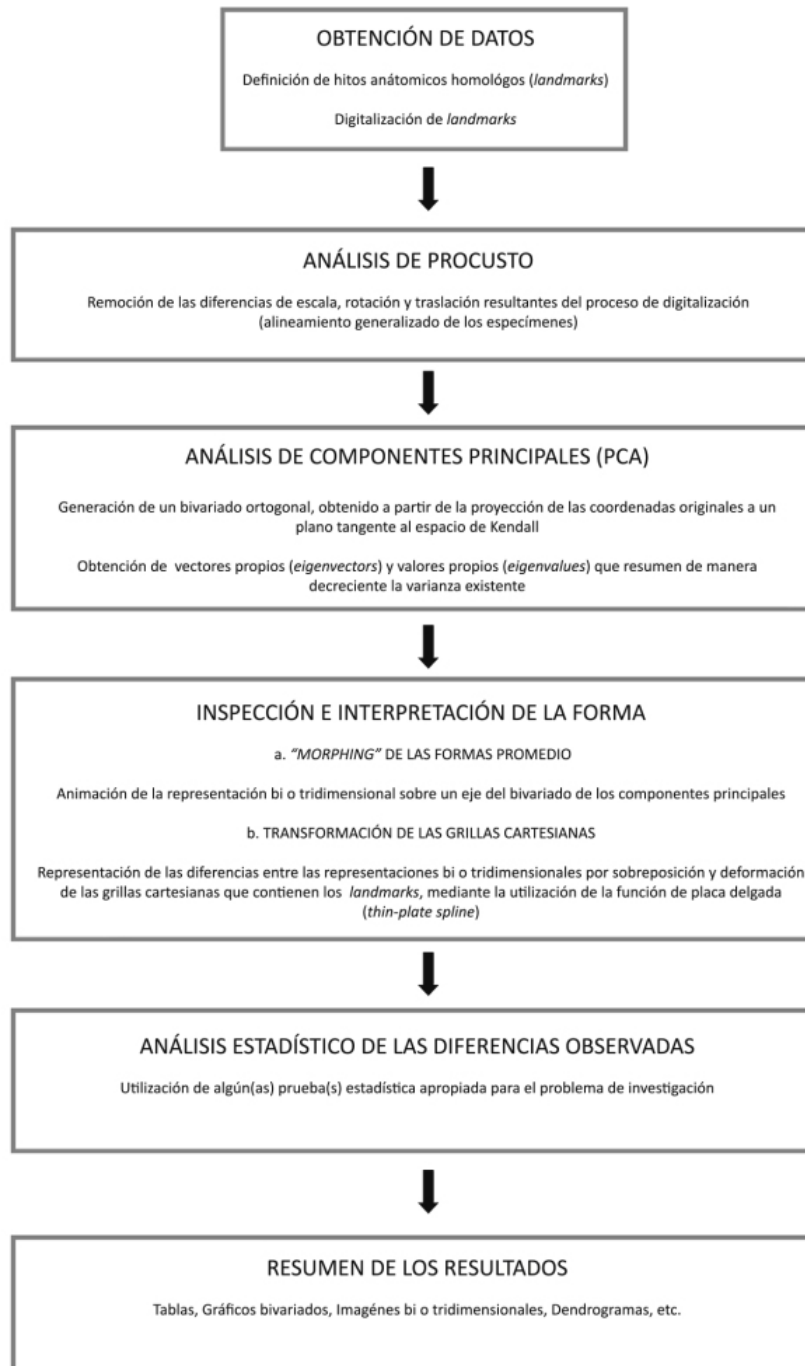


Figura 2.2: Diagrama de Flujo estándar de la Morfometría Geométrica

fueron digitalizados **19 hitos anatómicos**. Se utilizó el mapa de homologías descrito a continuación, utilizando en la mayoría de los casos la nomenclatura craneométrica de Martin y Saller (1957) (Fig. 2.3 y 2.4):

Se eliminaron las diferencias debidas a rotación, traslación y escala a través de un **análisis de Procusto generalizado (GPA)** utilizando el programa **MorphoJ** (Klingenberg 2011). Como estimador del tamaño se utilizó el tamaño del centroide (Bookstein 1991). Las matrices de morfocoordenadas resultantes, fueron posteriormente proyectadas como puntos únicos a un espacio tangente al espacio morfométrico de Kendall (1984), mediante una proyección ortogonal (Dryden y Mardia 1998). Estos ejes (*relative warps*) son análogos a los componentes principales (PCA) de un análisis multivariado convencional, y se generan mediante el modulo PCA del mismo programa. Los relative warps se obtienen de los vectores propios (*eigenvectors*) de los componentes de la forma, generados a partir del análisis de Procusto y resumen de manera decreciente la varianza total acumulada en cada uno de dichos componentes (Slice 2005). En las coordenadas $x = 0$, y $y = 0$ de los ejes del bivariado tangente se ubica la configuración de consenso, la cual se utiliza a modo de referencia para poder visualizar la magnitud y dirección del cambio morfométrico en los espécimenes proyectados en el espacio tangente.

Con el fin de obtener una adecuada visualización del patrón de variación de la forma en los cráneos aquí analizados, se utilizó la **función de placa delgada (thin-plate spline)** en los valores extremos negativos y positivos de cada eje. La representación de esta función, es a través de una grilla cartesiana que se expande o contrae de acuerdo a la magnitud y dirección que adopta el vector que afecta la forma del cráneo. Este vector es observable tanto en los ejes mayores (cambio uniforme), como también en zonas morfológicas localizadas (cambio no-uniforme). Los análisis morfométrico geométricos y estadísticos se llevaron a cabo utilizando los *softwares* **Past** y **MorphoJ** (Hammer et al. 2001; Klingenberg 2011).

2.3.2. Análisis Estadísticos

En primer lugar se realizaron **Análisis de Componentes Principales (PCA)** tanto de la muestra en su totalidad, como distinguiendo por deformación, origen geográfico y temporal. El PCA es un procedimiento para encontrar variables hipotéticas (componentes) que den cuenta de la mayor parte de la varianza posible de una muestra con datos multidimensionales. Estos componentes son combinaciones lineales y ortogonales de las variables originales (Hotelling 1933; Jolliffe 1986; Jackson 1991; Jolliffe 1993; Reyment y Jöreskog 1996). Estos análisis se realizaron con la finalidad de observar la variabilidad morfológica de la muestra y ver si existían o no patrones evidentes en la muestra. Junto con lo anterior, se aprovecharon también las propiedades

Hito	Nombre	Definición Anatómica	Tipo	Módulo	Referencia
1	Bregma (b)	Punto en el que la sutura sagital se encuentra con la sutura coronal.	I	Neurocráneo	Martin y Saller 1957
2	Lambda (l)	Punto en el que la sutura lambdoidea se encuentra con la sutura sagital.	I	Neurocráneo	Martin y Saller 1957
3	Occipital (oc)	Punto geométrico definido por la perpendicular, en el punto medio de la línea recta que une a Ld con Ast.	*	Neurocráneo	-
4	Asterion (ast)	Punto donde las suturas lambdoidea, occipitomastoidea y parieto-mastoidea se encuentran.	I	Neurocráneo	Martin y Saller 1957
5	Mastoidale (ms)	Punto antero-inferior más sobresaliente de la punta del proceso mastoideos.	II	Neurocráneo	Martin y Saller 1957
6	Porion (po)	Punto en el borde superior del meato acustico externo, que se encuentra perpendicularmente sobre el centro de la misma.	II	Neurocráneo	Martin y Saller 1957
7	Tubérculo (tb)	Punto más inferior del tubérculo articular de la ATM.	II	Neurocráneo	-
8	Cigotemporal Inferior (cti)	Punto más inferior de la sutura cigomático-temporal.	I	Esplancocráneo	-
9	Cigotemporal Superior (cts)	Punto más superior de la sutura cigomático-temporal.	I	Esplancocráneo	-
10	Piramidal (pd)	Punto más inferior de la sutura entre el maxilar y el proceso piramidal del esfenoides.	I	Esplancocráneo	-
11	Cigomático Inferior (ci)	Punto más inferior del hueso cigomático.	II	Esplancocráneo	-
12	Subespinal (ss)	Punto en plano mediosagital donde el borde delantero inferior de la espina nasal anterior se encuentra con la pared frontal del proceso alveolar del maxilar.	II	Esplancocráneo	Martin y Saller 1957
13	Nasoespinal (ns)	Punto más bajo del borde inferior de la apertura piriforme, proyectado en el plano mediosagital.	II	Esplancocráneo	Martin y Saller 1957
14	Orbitale (or)	Punto más bajo del borde inferior de la órbita del ojo.	II	Esplancocráneo	Martin y Saller 1957
15	Nasion (n)	Punto de encuentro entre el plano mediosagital con la sutura nasofrontal.	I	Esplancocráneo	Martin y Saller 1957
16	Frontomalar orbitale (fmo)	Punto único en el reborde lateral orbitario atravesado por la sutura fronto-cigomática.	I	Esplancocráneo	Martin y Saller 1957
17	Glabela (gl)	Punto único en la parte inferior del hueso frontal, que se encuentra por encima de la sutura frononasal y entre los arcos superciliares.	III	Neurocráneo	Martin y Saller 1957
18	Frontal (fr)	Punto geométrico definido por la perpendicular, en el punto medio de la línea recta que une gl con b.	*	Neurocráneo	Manríquez et al. 2006
19	Bóveda (bd)	Punto geométrico definido por la perpendicular, en el punto medio de la línea recta que une a b con l.	*	Neurocráneo	Manríquez et al. 2006

Figura 2.3: Mapa de Homologías utilizado en la presente tesis (* Pseudohito).

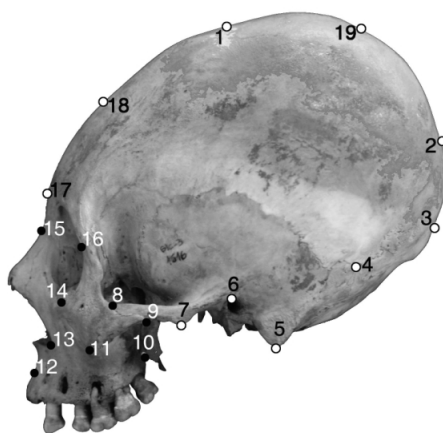


Figura 2.4: Mapa de Hitos *in situ*. Blanco: Neurocráneo; Negro: Esplacnocráneo.

lineales de los componentes para realizar otros estadísticos que difícilmente se pueden aplicar directamente en las coordenadas de Procrustes por encontrarse en un espacio hiper-dimensional no-euclideo. A partir de los componentes principales que representaban el 95 % de la varianza original extraídos de la distribución de los hitos, se procedió a realizar un **MANOVA** diacrónico entre los períodos de SPA para ver si existían diferencias cronológicas o no en el patrón deformatorio, y una serie de **comparaciones pareadas de Hotelling T^2 con corrección de Bonferroni** para la significancia, para ver cuales de las comparaciones en particular era significativas. Este mismo procedimiento se repitió pero para una comparación sincrónica entre muestras del período Medio de diferentes regiones andinas (SPA, Arica y el altiplano boliviano). Se quiso testear si existían o no diferencias significativas en el patrón de DIC para poblaciones coetáneas del Norte de Chile y sur de Bolivia.

Estos mismos análisis sincrónico y diacrónico se repitieron mediante la utilización de un **Análisis Canónico (CVA)**. El CVA es un análisis estadístico que proyecta un conjunto de datos multivariado en dos o más dimensiones que maximizan la separación entre tres o más grupos. El CVA es la extensión multivariada del análisis discriminante para más de dos grupos (Reyment y Savazzi 1999). El CVA permitió visualizar si habían diferencias significativas entre los grupos sincrónicos y los períodos de la prehistoria de SPA respectivamente, mediante el cálculo previo de **distancias de Mahalanobis** y un posterior **test de permutación de 10,000 rondas**. Junto con esto, el CVA permitió visualizar las diferencias de la forma de las configuraciones geométricas que maximizaban las diferencias inter-grupales.

Junto con lo anterior, se utilizó a los cráneos arqueológicos no-deformados como contraparte del estudio. En este sentido, aunque la DIC fue utilizada como un marcador cultural de identidad para establecer posibles contactos entre grupos, nos entrega nula información acerca de la genética de la morfología craneal, y por tanto de posible flujo génico (no obstante podría haber migrantes con DIC). Aunque previamente se señalaron las limitaciones de los estudios craneométricos convencionales (Carlson y van Gerven 1977; Larsen 1997; Collard y Wood 2000; Hlusko 2004; Williams et al. 2005), personalmente considero que en conjunción con los datos provenientes de la DIC, pueden ser de gran utilidad a la hora de discutir posibles contactos e interacciones. Para llevar a cabo esto, se realizaron los mismo análisis arriba mencionados pero únicamente con la muestra de cráneos no-deformados de cada sitio. Igualmente se calcularon **distancias de Mahalanobis** entre los distintos pares de sitios. En este caso, las distancias fueron calculadas a partir de los componentes principales que representaban el 95 % de la varianza original extraídos de la distribución de los hitos. Se utilizó dicha distancia, debido a que se ha sugerido que a diferencia de otras distancias aplicadas a coordenadas geométricas, la distancia de Mahalanobis no requiere independencia entre las coordenadas y la matriz de covariancia intragrupos (Neff y Marcus 1980; Klingenberg y Monteiro 2005), y que por tanto representaría una estadística más robusta a la hora de estudiar distancias biológicas.

Finalmente para estudiar el efecto de la DIC sobre la integración morfológica del cráneo se procedió en primera instancia a poner a prueba la hipótesis del comportamiento modular del neurocráneo y el esplacnocráneo mediante el **coeficiente RV**, para luego dar paso a análisis de covariación entre ambas estructuras anatómicas con un **análisis de mínimos cuadrados parciales (PLS)**.

La modularidad es un principio organizacional de los sistemas biológicos, que se manifiesta en distintos niveles de organización incluyendo el morfológico (Klingenberg 2008). Un módulo ha sido definido como una unidad dentro de la cual sus componentes presentan muchas y/o fuertes interacciones (Klingenberg 2009). Desde un punto de vista morfométrico, estas interacciones se manifiestan como fuertes correlaciones entre los componentes internos de un módulo, y una baja covariación (y por tanto correlación) entre módulos (Klingenberg 2008). Aunque existen otras definiciones estadísticas para el concepto de modularidad, la mayoría de ellas son más o menos similares (Goswami 2006; Mitteroecker y Bookstein 2008; Goswami y Polly 2010). Para evaluar la hipótesis de modularidad del mapa de hitos homólogos propuesto en la presente tesis, se especificaron dos subconjuntos de *landmarks* que representaron los módulos hipotéticos (neurocráneo y esplacnocráneo).

Posteriormente se realizó una comparación entre el nivel de correlación entre los módulos contra un número al azar de subconjuntos de hitos alternativos (Klingenberg 2008). Se calculó con

esta finalidad el coeficiente RV, el cual es un análogo multivariado de una correlación (Escoufier 1973). Para analizar los niveles de integración morfológica entre los dos módulos se utilizó el método de PLS, comparando entre individuos deformados y no-deformados. El método de PLS es uno de las técnicas más populares para estudiar los patrones de covariación entre dos o más conjuntos de variables. Su utilidad morfométrica radica en que al menos uno de los bloques de variables corresponde a variables de la forma (Klingenberg 2011). Por tanto es posible usar al análisis de PLS para estudiar el patrón de covariación entre las variables de la forma y otro conjunto de variables de la forma o incluso otros tipos de datos, tales como condiciones experimentales, información ecológica, función biomecánica, etc. El método de PLS de dos bloques es una técnica ampliamente usada en morfometría, y se basa en la **descomposición del valor singular (singular value decomposition)** de la matriz de covarianza común de los dos conjuntos de variables (bloques) (Rohlf y Corti 2000; Zelditch et al. 2004; Mitteroecker y Bookstein 2008). Cuando se realiza un PLS sobre variables de la forma provenientes de *thin-plate splines*, este método es también conocido como *singular warp analysis* (Bookstein et al. 2003). Los resultados del análisis de PLS son pares de combinaciones lineales que sucesivamente maximizan la covarianza entre los dos bloques de variables.

Se realizó un análisis de PLS de dos bloques para evaluar la integración morfológica entre neurocráneo y esplanocráneo, tanto en cráneos deformados como en aquellos no-deformados. La hipótesis nula fue la completa independencia entre ambos bloques de variables, o lo que es lo mismo, la ausencia total de integración entre ambos bloques de variables de la forma. El análisis identifica las características de la variación de la forma que mayormente covarian entre los bloques, destacando así su contribución relativa al total de covariación entre los bloques. Se generó un análisis de **PLS dentro de una configuración (within one configuration)**, lo cual significa que el análisis considera toda la covariación existente entre bloques, incluyendo aquella parte relativa a la posición, orientación y tamaño de los bloques (Klingenberg 2008). Este enfoque es diferente a la aproximación tradicional para un PLS de dos bloques, pues se realiza un análisis de Procrustes para toda la configuración y luego se separan los bloques, en contraste con el PLS regular donde se realizan análisis de Procrustes separados para cada configuración. En este sentido, el análisis de PLS dentro de una configuración se adecua mejor para estudios de integración morfológica que consideran la covariación de las partes en el contexto de una estructura entera (e.g. el cráneo), donde el ordenamiento relativo de sus partes puede contribuir significativamente a los patrones de covariación observables (Klingenberg 2008).

2.3.3. Pruebas de Confianza

Con el fin de asegurar la mayor confianza tanto en la recolección del dato, como también la medición, se realizaron distintas pruebas para evaluar las posibles fuentes de error, que pudiesen empañar o distorsionar a la investigación.

- **Recolección del dato primario:** Para poder estimar si existían distorsiones en las fotografías producto de las diferencias luminosidad, se tomaron tres fotografías de un sub-grupo de 5 cráneos sometido a diferentes condiciones lumínicas (luz directa, luz indirecta y con sombra). Posteriormente se colocaron los respectivos hitos sobre el cráneo en cuestión, y se realizó un **análisis generalizado de Procrustes (GPA)** para eliminar las diferencias por rotación, traslación y escala. Luego, al obtener los componentes de la forma se realizó un **MANOVA** para ver si existen diferencias entre las distintas fotografías del mismo cráneo. No se encontraron diferencias significativas entre las configuraciones geométricas obtenidas con distinta luminosidad ($p \geq 0.05$). Este mismo procedimiento se repitió, pero esta vez evaluando si existían diferencias significativas en la forma entre cráneos fotografiados a distintas distancias. Aunque el protocolo fotográfico establecía una distancia estándar para la obtención de imágenes (1.5 metros), se quiso evaluar si pequeños cambios en dicha distancia pudiesen alterar los subsiguientes análisis. Por este motivo un sub-grupo de 5 cráneos fueron fotografiados tres veces a 1.25 metros, 1.5 metros y 1.75 metros de distancia para ver si existen diferencias significativas en los componentes de la forma no se encontraron diferencias significativas entre las configuraciones geométricas obtenidas ($p \geq 0.05$).
- **Estimación de Sexo y DIC:** La estimación del sexo de forma cualitativa y cuantitativa es un método tradicional dentro de la Antropología Física (Buikstra y Ubelaker 1994; Krenzer 2006). La primera se sustenta en la observación de ciertas características propias no-métricas de cada sexo (cualitativa), mientras que la segunda se basa en la medición de variables que permitan discriminar a los sexos (cuantitativa). Aunque ambos métodos son complementarios, la simpleza y amplia aplicación de los métodos morfoscópicos cualitativos los han hecho usualmente preferidos por sobre los métodos cuantitativos. Aunque estos últimos poseen un mayor dominio estadístico, se han utilizado menos por lo que su estandarización a distintas poblaciones ha sido más lenta (Krenzer 2006). Es por esto, que se utilizó la estimación basada en métodos morfoscópicos estándar para la estimación del sexo vía morfología craneal, ampliamente descritos en la literatura bioantropológica (Buikstra y Ubelaker 1994). Ahora bien, la muestra en la presente tesis se compone únicamente de cráneos, por lo que resulta difícil saber si la estimación del sexo realizado es la adecuada.

En este sentido, para verificar si la clasificación del sexo mediante técnicas morfoscópicas estándar fue correcta, se procedió a realizar un **análisis discriminante con validación cruzada (cross-validated)** para la variable sexo utilizando las coordenadas de Procrustes. De igual manera se repitió el mismo análisis para la clasificación *a priori* de la DIC, pues esta también se generó inicialmente a partir de técnicas morfoscópicas. La significancia fue determinada utilizando un test de **Hotelling T²** en ambos casos. Los análisis discriminantes arrojaron diferencias significativas tanto para el dimorfismo sexual (90.78 % y 93.57 % de correspondencia para mujeres y hombres respectivamente. Distancia de Procrustes = 0.01909; $T^2 = 697.490$; $p < 0.0001$) como para la DIC (90.97 % y 94.48 % de correspondencia para cráneos deformados y no-deformados respectivamente. Distancias de Procrustes = 0.04696; $T^2 = 617.882$; $p < 0.0001$). Lo anterior significa que la clasificación realizada mediante técnicas morfoscópicas tanto para el dimorfismo sexual y la DIC, permiten distinguir adecuadamente y con bajo error entre individuos femeninos y masculinos, y cráneos deformados y no-deformados respectivamente.

- **Error intra-observador:** La preocupación por posibles sesgos y/o errores en la medición en Antropología Biológica y Morfometría Geométrica siempre ha existido, existiendo diversas formas de evaluar esta fuente de error dependiendo del diseño experimental y el problema de investigación (Kouchi et al. 1999; Bernal et al. 2004; Pérez et al. 2004; von Cramon-Taubadel et al. 2007). Con el fin de estimar el error intra-observador que pudiese existir al momento de posicionar los distintos hitos anatómicos, se procedió a digitalizar tres veces una submuestra de 30 cráneos del total disponible. Esta muestra fue construida al azar, mediante un algoritmo de muestro sin reemplazo. Cada proceso de digitalización se realizó con una semana de separación, y el orden de digitalización de los cráneos de la submuestra, también se realizó aleatoriamente mediante randomización. Para evaluar la existencia o no de diferencias significativas entre las tres procesos de digitalización de los mismos cráneos, se colocaron los hitos anatómicos homólogos, y se llevó a cabo un **análisis generalizado de Procrustes (GPA)** para eliminar las diferencias por rotación, traslación y escala. Luego se evaluaron las diferencias en los componentes de la forma a través de un **ANOVA de Procrustes**. El ANOVA de Procrustes ha sido descrito en extenso en Klingenberg y McIntyre (1998) y Klingenberg et al. (2002), y es utilizado preferentemente para estudios de asimetría fluctuante, variación entre individuos y error en la medición. No se encontraron diferencias significativas entre los mismos cráneos digitalizados tres veces ($p \geq 0.05$). Para facilitar la visualización del error en la medición (significativo o no), se calcularon las distancias de Procrustes entre las configuraciones de consenso de cada proceso de digitalización y con ellas

se generó un dendograma vía **UPGMA**.

2.3.4. Limitaciones

- [...] *I look at the natural geological record as a history of the world imperfectly kept and written in a changing dialect; of this history we possess the last volume alone, relating only to two or three countries. Of this volume, only here and there a short chapter has been preserved; and of each page, only here and there a few lines-*
Charles Darwin, Chapter IX: On the Imperfection of the Geological Record. On the Origin of Species by Means of Natural Selection (1859).

- **Técnica:** El registro 2D en fotografías y radiografías laterales de una estructura 3D como el cráneo humano, impide la visualización de los cambios morfológicos existente en otros planos que no sean el sagital, es decir únicamente en los ejes antero-posterior y vertical. Por lo que cualquier variación existente en otros ejes (e.g. medio-lateral o transversal), será difícil -sino imposible- de visualizar y cuantificar.
- **Muestral:** Como sucede en cualquier disciplina histórica (que trate acerca de hechos ya acontecidos: Biología Evolutiva, Astronomía, Arqueología, Historia, Paleontología, etc.), el registro es incompleto (Darwin 1859). Esto implica trabajar sobre parcialidades y clasificaciones muchas veces incorrectas. En el caso de la Bioarqueología, la limitación surge al considerar al cementerio, entierro y/o sitio arqueológico en general como unidad poblacional, a pesar de lo incompleto y fragmentario éste pueda ser. En este sentido la presente tesis se ve limitada por no utilizar a todos los sitios disponibles para cada uno de los períodos analizados, y por el pequeño tamaño muestral de algunos períodos (e.g. Formativo). Sin embargo a futuro se podrían utilizar la totalidad de los sitios disponibles en SPA para tener una visión aún más global de la temática aquí tratada.
- **Bioarqueológica:** El estudio de la DIC permite estudiar las interacciones entre distintos grupos humanos, no obstante no nos permite distinguir si la similitud en el patrón deformatorio es debido a movimientos poblaciones (e.g. migración), o más bien a un fenómeno de imitación y/o adopción culturales (estatus, estética, ideología, etc.). Del mismo modo la contraparte propuesta para complementar lo anterior (distancias craneométricas en no-deformados), presenta diversas limitaciones que dificulten su interpretación (e.g. plasticidad fenotípica, modularidad, normas de reacción, etc.).

Capítulo 3

Resultados, Discusión y Conclusión

3.1. Resultados y Discusión

3.1.1. Estimación de Sexo y DIC

Se logró determinar el sexo de la mayoría de los cráneos analizados, utilizando las técnicas morfoscópicas estándar (Buikstra y Ubelaker 1994; Walrath et al. 2004; Krenzer 2006). Aunque de antemano se conocían las limitaciones inherentes a estos métodos, tales como el carácter bimodal (y con traslape) de la distribución de variables continuas asociadas al dimorfismo sexual, estos métodos han sido ampliamente probados y utilizados en la literatura antropológica. Otra limitación de este tipo de métodos morfoscópicos, es que se basan en poblaciones de referencia que muchas veces pueden ser muy diferentes a las prehistóricas. Para minimizar lo anterior, se utilizaron únicamente métodos validados para población nativo-americana (Buikstra y Ubelaker 1994).

Se realizó un análisis discriminante de validación cruzada (*cross-validated*) utilizando las coordenadas de Procusto obteniéndose un 90.78 % y un 93.57 % de correspondencia para mujeres y hombres respectivamente (distancia de Procusto= 0.01909; $T^2 = 697.490$; $p < 0.0001$). Lo anterior significa que la clasificación realizada mediante técnicas morfoscópicas para el dimorfismo sexual permitió distinguir adecuadamente y con bajo error entre individuos femeninos y masculinos.

3.1.2. Generación de un Mapa de Hitos Homólogos

Utilizando las herramientas de la morfometría geométrica, se logró obtener una adecuada cobertura de la vista sagital de las cráneos. Este paso resultó fundamental, pues a final de cuentas se trabaja con matrices de morfocoordenadas que son dichos conjuntos de hitos, tras el análisis

generalizado de Procusto. Por lo tanto, cualquier error o sesgo en la localización de dichos hitos, podría arrojar resultados alterados, que dificultarían nuestras posteriores interpretaciones, o peor aún nos entregarían falsos resultados. Para evitar esto, se realizó una prueba de confianza digitalizando un subconjunto de cráneos repetidas veces y viendo si existían diferencias significativas entre las configuraciones. Se observó un bajo error intraobservador tras el ANOVA de Procusto, puesto que no se encontraron diferencias significativas entre los mismos cráneos digitalizados tres veces ($p \geq 0.05$).

3.1.3. Comparación Sincrónica y Diacrónica del Patrón de DIC en SPA

Una serie de PCA's fueron realizados inicialmente con la muestra de cráneos deformados de SPA. Dichos análisis mostraron que las muestras del final del Período Formativo, aunque poco numerosas, presenten un patrón deformatorio bastante homogéneo y similar entre sí. Siguiendo la interpretación arqueológica tradicional, esto puede deberse probablemente a la ausencia o escasez de influencias foráneas durante dicho periodo (2250 – 1850 A.P). Por su parte, las muestras de inicios del período Agroalfarero (Fase Sequitor; 1850-1550 A.P), presentan un patrón deformatorio homogéneo y similar a los de la fase previa, lo que en concordancia con los datos arqueológicos y bioantropológicos sugerirían una continuidad entre ambos periodos. Sin embargo el pequeño tamaño muestral puede oscurecer estas conclusiones, además de impedir la realización de otras pruebas confirmatorias de manera adecuada (e.g. CVA). Los cráneos provenientes de las fases Quito (1550 – 1250 A.P) y Coyo (1250-950 AP), que corresponden al período de influencia Tiwanaku, se observa una mayor diversificación en el patrón deformatorio. Esta mayor diversidad morfológica puede deberse a la coexistencia de distintas técnicas de deformación durante dicho período, lo cual podría suponer la existencia de migrantes provenientes de la cuenca del Titicaca u otras zonas andinas. Sin embargo, como revisaremos más adelante, el patrón deformatorio de SPA para el período Medio, no se asemeja al de Tiwanaku o al comúnmente conocido como deformación “Aymara” del altiplano (Marroquin 1944), sino que por el contrario se asemejan al estilo definido tradicionalmente como “tabular erecto”. En la misma línea, se observa a su vez una alta heterogeneidad y diversidad en el patrón deformatorio en la fase Coyo, debido probablemente a la ya mencionada coexistencia de estilos deformatorios. Existe una ausencia de similitud entre el patrón deformatorio para este período en SPA y la deformación usualmente asociado a poblaciones tiwanakotas. Por su parte, las muestras correspondientes a la Fase Solor (950 – 480 AP) presentan una disminución en la heterogeneidad del patrón deformatorio con respecto al período previo. De hecho resulta indicativo que el patrón deformatorio para el PIT resulta ser más similar a aquel del

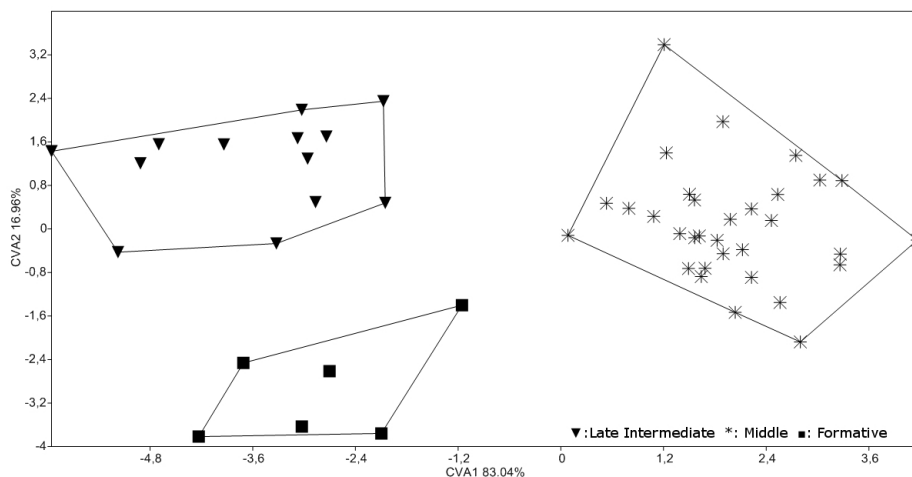


Figura 3.1: Análisis Canónico Diacrónico entre diferentes poblaciones de SPA de los periodos Formativo, Medio e Intermedio Tardío. ▼: Intermedio Tardío; *: Medio; ■: Formativo. La figura muestra dos ejes canónicos que dan cuenta del 83.04 % y 16.96 % de la varianza inter-grupal. Las distancias de Mahalanobis fueron altamente significativas tras 10,000 rondas de permutación ($p < 0.0001$). Una comparación pareada de Hotelling T2 con corrección de Bonferroni confirmaron este resultado, mostrando diferencias significativas entre grupos ($p < 0.0001$), con la excepción de las comparaciones con el periodo Formativo, probablemente debido a su pequeño tamaño muestral.

Formativo, que al presente durante el período Medio, pues esto podría sugerir influencias foráneas en la tradición de DIC de SPA.

Para poner a prueba lo anterior se realizaron una serie de pruebas estadísticas confirmatorias. En primera instancia se realizó un análisis un CVA diacrónico entre los diferentes períodos de la prehistoria atacameña (Formativo, Medio y PIT). Los primeros ejes canónicos explicaban un 83.04 % y un 16.96 % de la varianza inter-grupal de la muestra (Fig. 3.1).

Las distancias de Mahalanobis fueron altamente significativas para todas las comparaciones ($p < 0.0001$; 10,000 rondas de permutación). Las comparaciones pareadas de Hotelling T^2 con corrección de Bonferroni confirmaron este resultado mostrando diferencias significativas entre los grupos ($p < 0.0001$), a excepción de la comparación con el período Formativo, probablemente debido a su pequeño tamaño muestral. Aunque la comparación con el Formativo no fuese significativa, resulta sugerente que su patrón de DIC es más similar al PIT (distancia de Mahalanobis : 4.1893) que a la muestra del período Medio (distancia de Mahalanobis: 5.6823). Durante el período Medio el patrón de deformación es morfológicamente caracterizado por huesos occipitales más aplanados, mientras que los otros dos períodos muestran deformaciones más leves. La heterogeneidad morfológica visible durante el período Medio puede deberse a la convivencia de diferentes

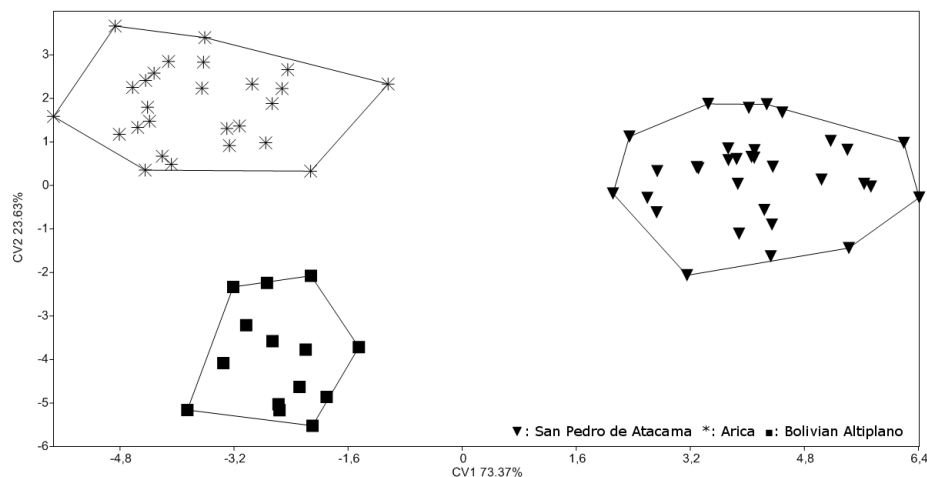


Figura 3.2: Análisis Canónico Sincrónico entre diferentes poblaciones del Período Medio de la Región Andina. ▼: San Pedro de Atacama; *: Arica; ■: Altiplano Boliviano. La figura muestra dos ejes canónicos que dan cuenta del 73.37 % y 23.63 % de la varianza inter-grupal respectivamente. Las distancias de Mahalanobis fueron altamente significativas tras 10,000 rondas de permutación. Comparaciones pareadas de Hotelling T² con corrección de Bonferroni confirman este resultado mostrando diferencias significativas entre los grupos ($p < 0.0001$).

estilos deformatorios, con individuos más cercanos a la deformación comúnmente denominada “Erecto” (e.g. cementerios de Tchecar y Tchilimoya) y otras más cercanos a lo usualmente conocido como “Oblicuo” (e.g. cementerio de Solcor 3) (Nado et al. 2012). Se requieren más estudios para entender cabalmente las razones de la heterogeneidad existente de la DIC durante el período Medio. En términos generales el patrón general de la DIC de SPA puede ser caracterizada por un occipital aplanado en distinto grado, que puede ser descrito tradicionalmente como “Erecto”.

Posteriormente se puso a prueba la hipótesis nula de que no existían diferencias significativas en la forma de los cráneos deformados artificialmente pertenecientes a distintas poblaciones sincrónicas (período Medio) del área andina, sin importar su origen geográfico. El CVA sincrónico para el período Medio arrojó que los primeros ejes canónicos dan cuenta del 73.37 % y 23.63 % de la varianza inter-grupal de la muestra respectivamente, mostrando así que el patrón de DIC depende del origen geográfico (Fig. 3.2).

Las distancias de Mahalanobis fueron altamente significativas tras 10,000 rondas de permutación ($p < 0.0001$). Las comparaciones pareadas de Hotelling T² con corrección de Bonferroni confirmaron este resultado mostrando diferencias significativas entre los grupos ($p < 0.0001$). Lo anterior sugiere que el patrón de DIC refleja una tradición local, más que similitud inter-grupal debida a influencia cultural y/o migración. Las diferencias morfológicas se asocian con la

contracción-elongación del neurocráneo, con formas más elongadas en Arica y Bolivia en comparación a las más contraídas occipitalmente de SPA. Desde un punto de vista tradicional, esto significa que aquellas formas encontradas en Arica y el altiplano boliviano son más similares con lo que usualmente ha sido llamado como deformaciones “anulares oblicuas”, mientras que la muestra de SPA es más cercana a las denominadas como “tabulares erectas”. Sin embargo estas categorías presentan demasiada variación para ser realmente útiles.

Los resultados del CVA sincrónico apoyan la existencia de patrones de DIC regionales durante el período Medio, lo cual podría ser considerado como evidencia de tradiciones de DIC locales. Aunque se evidenciaron diferencias significativas entre los períodos de la prehistoria de SPA (Medio v/s PIT), estos cambios son leves en comparación con el patrón regional de DIC. Los resultados aquí presentados apoyan la hipótesis de que la DIC representa una tradición local más que similitudes inter-grupales debidas a influencia cultural y/o migración, sugiriendo así que esta práctica podría ser considerada como un marcador de identidad local.

En el caso de los individuos no-deformados se realizaron una serie de PCA's. Dichos análisis mostraron que no existe un patrón claro en la muestras, sin importar su período. Se generó un CVA diacrónico para la muestra de cráneos no-deformados entre los diferentes períodos de la prehistoria atacameña (Formativo, Medio y PIT). Los primeros ejes canónicos explicaban un 67.43 % y un 32.57 % de la varianza inter-grupal de la muestra. Las distancias de Procrustes no fueron significativas tras 10,000 rondas de permutación para todas las comparaciones ($p \geq 0.05$). Lo anterior, nos sugiere que existe una continuidad biológica en las poblaciones de SPA, pero sin un análisis genético detallado, lo anterior es tan sólo una propuesta fenética. Luego se testeó la hipótesis nula de que no existían diferencias significativas en la forma de los cráneos no-deformados pertenecientes a distintas poblaciones sincrónicas (período Medio) de los Andes Centro-Sur, no importando su origen geográfico. El CVA sincrónico para el período Medio arrojó que los primeros ejes canónicos dan cuenta del 66.94 % y 33.06 % de la varianza inter-grupal de la muestra respectivamente, mostrando así que el patrón de DIC depende del origen geográfico. Las distancias de Procrustes fueron altamente significativas tras 10,000 rondas de permutación ($p < 0.005$). Lo anterior nos sugiere que las poblaciones del período Medio para el área andina son diferentes a nivel morfológico, lo que se podría explicar por la ausencia de un flujo génico significativo entre ellas. Sin embargo, al igual que para el análisis previo, tan sólo un estudio genético podría corroborar esta sugerencia.

3.1.4. Análisis de Modularidad e Integración Morfológica

La cabeza humana es una estructura compleja que presenta diversos desafíos al momento de estudiar su ontogenia, funcionamiento y evolución. Una de estas fuentes de complejidad se debe a su organización modular, lo cual significa que se encuentra compuesta de unidades distintas y parcialmente independientes. Por otra parte, otra fuente de complejidad resulta del grado relativo de covariación entre estos diferentes módulos, fenómeno conocido como integración morfológica. La manera particular en como covarían los diferentes módulos para actuar como un todo funcional (Lieberman 2011). La DIC es una modificación corporal permanente en la cual la cabeza humana es intencionalmente deformada mediante la utilización de distintos aparatos deformadores. La DIC es un experimento natural para poner a prueba si las perturbaciones biomecánicas en el neurocráneo pueden afectar el crecimiento y desarrollo de la cabeza como un todo funcional. Se intentó entender como la DIC afectaba la integración morfológica normal del cráneo, comparando individuos deformados y no-deformados.

Primero se analizó la modularidad del cráneo humano proponiendo dos módulos del desarrollo -el neurocráneo y el esplanocráneo-, utilizando el coeficiente RV. La imagen muestra la hipótesis de modularidad definida *a priori* basados en orígenes del desarrollo diferentes, junto con la configuración alternativa que presenta el menor grado de covariación entre los módulos (coeficiente RV) (Klingenberg 2008). En la mayoría de las situaciones ambas figuras no concuerdan en lo absoluto, debido a que la configuración alternativa responde sólo a un criterio matemático y el algoritmo implementado en el *software* debe siempre encontrar una solución. Sin embargo lo que importa para probar positivamente una hipótesis modular es que nuestros módulos definidos previamente *a priori* se ubiquen en el lado más izquierdo de la distribución de coeficientes RV generados en base a particiones alternativas definidas por azar. Es por tanto importante considerar que la hipótesis *a priori* se basa en criterios biológicos bien establecidos. El resultado aquí encontrado muestra una perfecta correspondencia los módulos definidos de antemano y aquellos definidos como las particiones alternativas de menor covariación, lo cual es una fuerte evidencia para apoyar la división modular basada en orígenes del desarrollo diferenciales (neurocráneo y esplanocráneo). La distribución de los coeficientes RV muestra que la hipótesis *a priori* se encuentra en el extremo izquierdo de la curva de distribución, siendo como ya se señaló la partición con el coeficiente RV más bajo (RV= 0.388153) (Fig.3.3). De un total de 6551 particiones alternativas a las que se les calculó el coeficiente RV ninguna presenta un coeficiente RV menor que el hipotetizado de antemano. El análisis aquí presentado es una buena evidencia para sostener la organización modular por orígenes del desarrollo diferenciales.

Tras comprobar que la cara ósea y la bóveda craneal se comportan modularmente se procedió

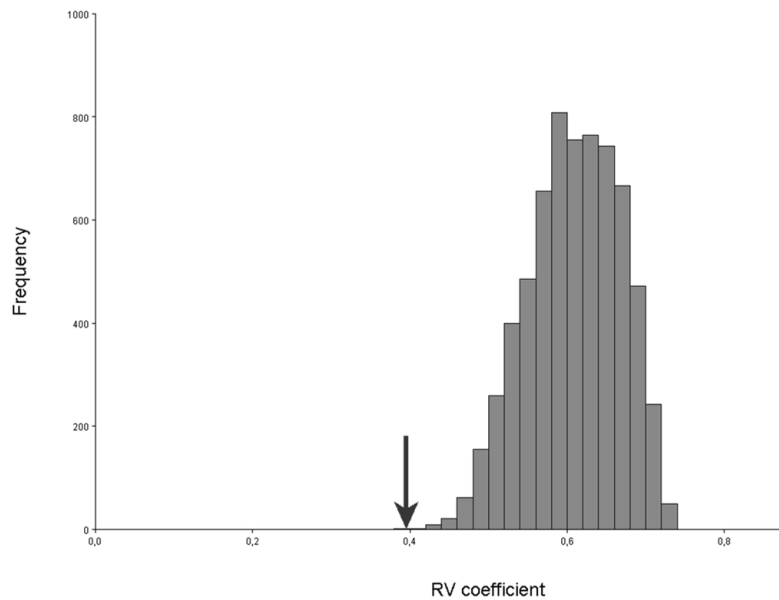


Figura 3.3: Distribución frecuencia de los coeficientes RV para las dos particiones modulares propuestas. La flecha muestra el coeficiente RV de la hipótesis modular definida a priori, que en este caso coincide con la partición modular con el coeficiente RV más bajo ($RV=0.388153$).

a estudiar la covariación entre ambos módulos para así calcular el nivel de integración morfológica en individuos deformados y no-deformados. Los resultados del PLS para los cráneos no-deformados muestran que existe una moderada integración morfológica entre ambos módulos. El Cuadro 3.1 resume los diferentes estadísticos utilizados para cada par de ejes PLS: los valores singulares, los porcentajes de covarianza al cuadrado que cada valor singular al cuadrado da cuenta y el valor de correlación entre los puntajes PLS de los bloques.

El coeficiente RV aquí se utilizó como una medida general para la fuerza de la asociación entre los bloques ($RV=0.2867$). Como se explicó previamente, este coeficiente puede ser interpretado como un análogo multivariado de un coeficiente de correlación al cuadrado entre dos variables (Escoufier 1973). Esto significa que sólo hay una integración morfológica que va de moderada a leve entre neurocráneo y cara en cráneos no-deformados. Para probar la significancia de los diferentes estadísticos utilizados se procedió a realizar 1000 rondas de permutación. El Cuadro 3.1 también resume los valores-p asociados para cada valor singular y las correlaciones pareadas. Cabe recordar que todos estos tests asumen como hipótesis nula la total independencia entre los bloques. Los resultados fueron significativos tanto para los primeros ocho valores singulares ($p < 0.001$) y para varias correlaciones pareadas de los valores PLS ($p < 0.05$). Los patrones de covariación entre esplanocráneo y neurocráneo fueron interesantes para los dos primeros pares

	Valor Singular	p-valor (perm.)	% Covarianza Total	Correlación	p-valor (perm.)
PLS1	0.0002148	< 0.001	36.725	0.70634	0.004
PLS2	0.00020645	< 0.001	33.925	0.68578	0.049
PLS3	0.00012858	< 0.001	13.159	0.63401	0.015
PLS4	0.00010117	< 0.001	8.148	0.76206	< 0.001
PLS5	0.00008104	< 0.001	5.228	0.59052	< 0.001
PLS6	0.0000399	< 0.001	1.267	0.45015	0.013
PLS7	0.00002936	0.006	0.686	0.46979	0.003
PLS8	0.0000215	0.027	0.368	0.52691	< 0.001
PLS9	0.00001497	0.281	0.178	0.33068	0.093
PLS10	0.00001259	0.198	0.126	0.26866	0.299
PLS11	0.0000109	0.068	0.095	0.30197	0.038
PLS12	0.00000636	0.844	0.032	0.23781	0.196
PLS13	0.00000566	0.506	0.025	0.2179	0.201
PLS14	0.00000496	0.187	0.02	0.22835	0.037
PLS15	0.00000378	0.174	0.011	0.21946	0.01
PLS16	0.0000022	0.509	0.004	0.15149	0.058
PLS17	0.00000156	0.313	0.002	0.19952	0.001
PLS18	0.00000092	0.199	0.001	0.07331	0.093

Cuadro 3.1: Valores singulares y correlaciones pareadas de puntajes PLS entre bloques para individuos no-deformados. Valores significativos en negrita (1000 rondas de permutación).

	Valor Singular	p-valor (perm.)	% Covarianza Total	Correlación	p-valor (perm.)
PLS1	0.00034983	< 0.001	45.947	0.83637	< 0.001
PLS2	0.00029928	< 0.001	33.627	0.69617	0.027
PLS3	0.00015527	< 0.001	9.051	0.63998	< 0.001
PLS4	0.00011646	< 0.001	5.092	0.77005	< 0.001
PLS5	0.00010002	< 0.001	3.756	0.53332	0.001
PLS6	0.00006945	< 0.001	1.811	0.58394	< 0.001
PLS7	0.00002754	0.323	0.285	0.53731	< 0.001
PLS8	0.00001979	0.562	0.147	0.30285	0.166
PLS9	0.00001747	0.262	0.115	0.31301	0.104
PLS10	0.00001402	0.256	0.074	0.2798	0.145
PLS11	0.00001059	0.435	0.042	0.3109	0.011
PLS12	0.00000717	0.876	0.019	0.28041	0.022
PLS13	0.00000637	0.584	0.015	0.18769	0.394
PLS14	0.00000512	0.454	0.01	0.24656	0.006
PLS15	0.00000368	0.503	0.005	0.15384	0.164
PLS16	0.00000306	0.172	0.004	0.14961	0.034
PLS17	0.00000145	0.598	0.001	0.07134	0.399
PLS18	0.00000088	0.33	0	0.04908	0.277

Cuadro 3.2: Valores singulares y correlaciones pareadas de puntajes PLS entre bloques para individuos deformados. Valores significativos en negrita (1000 rondas de permutación).

de ejes que explican la mayor parte de la covarianza de la muestra. Los primeros dos pares de ejes singulares dan cuenta del 36.725 % de la covarianza total de la muestra, mientras que los segundos dos pares explican el 33.925 % de la covarianza total de la muestra. La Figura 3.4 muestra el patrón de covariación del primer par de ejes singulares. Interesantemente la covariación entre los módulos para el PLS1 puede ser descrita como una expansión en la porción superior del neurocráneo (huesos parietales y frontal) y una proyección hacia anterior de la porción basilar del occipital. Por su parte la porción superior del esplanocráneo (orbitas y cigomáticos) muestran una retracción, mientras que la porción inferior (procesos alveolares) presentan una proyección antero-inferior. Este mismo procedimiento recién descrito fue repetido en la muestra de cráneos deformados. Los resultados del PLS para los cráneos deformados también mostraron una integración morfológica moderada entre ambos módulos, aunque más fuerte que para la muestra de cráneos no-deformados ($RV=0.3950$).

El Cuadro 3.2 resume los resultados de los diferentes estadísticos utilizados que fueron significativos para los primeros seis valores singulares ($p < 0.001$) y para las primeras seis correlaciones pareadas de los valores PLS ($p < 0.05$). Los primeros dos pares de ejes singulares resumen el 45.947 % y 33.627 % de la covarianza total de la muestra. La Figura 3.5 muestra el patrón de covariación para el primer par de ejes singulares. La covariación entre los módulos para el PLS1 muestra una interesante pauta. Se observa una expansión generalizada del neurocráneo (con excepción de la escama del occipital), una notaria proyección hacia inferior del maxilar y una retracción cigomática. Al comparar el gráfico de correlación del PLS1 para los dos bloques tanto en individuos no-deformados como deformados, es posible darse cuenta de que existe una clara tendencia lineal en los cráneos deformados (Fig. 3.5).

Como fue revisado previamente una medida de integración morfológica es la correlación entre los primeros valores PLS de los bloques analizados (Bookstein et al 2003; Bastir et al. 2005; Gunz y Harvati 2007). La DIC afecta la integración morfológica del cráneo aumentando la integración morfológica en comparación a los cráneos no-deformados. Esto se puede deber a que la DIC constriñe de crecimiento del encéfalo, estructura que “guía” el crecimiento del neurocráneo, obligándolo a crecer en una dirección supero-posterior a antero-inferior. De esta manera, la DIC actúa sobre uno de los mecanismos generadores de integración morfológica craneofacial más importantes -el encéfalo-, limitando su posible variación a mayoritariamente una dirección. Así la DIC actúa como un *buffer* epigenético limitando la variación neurocraneal en una dirección (de supero-posterior a antero-inferior), incrementando así el nivel de interacción con el modulo facial, y por tanto incrementando la integración morfológica. Por otra parte, la DIC genera un patrón regional de covariación entre neuro y esplanocráneo. Vale decir, que resulta evidente que las distintas tradiciones de DIC producen diferentes tipos de covariación entre los módulos craneales previamente definidos. Por ejemplo, los cráneos de Arica muestran un neurocráneo más elongado

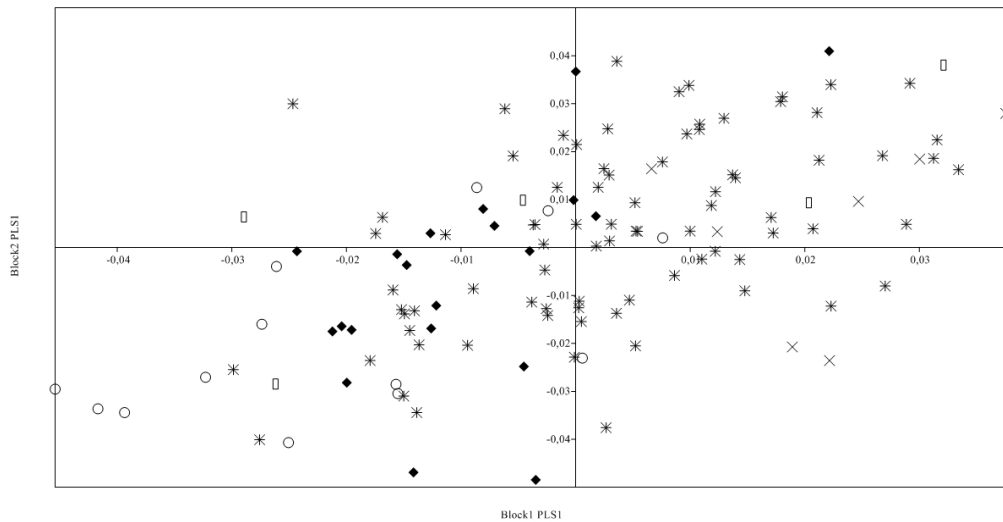


Figura 3.4: Gráfico de correlación para el PLS1 para los dos módulos (neurocráneo y esplanocráneo) en Individuos No-deformados.

asociado con una proyección facial antero-inferior, mientras que aquellos de SPA poseen un occipital más contraído asociado a una cara menos proyectada. Por su parte, los cráneos no-deformados no muestran ningún patrón regional claro, por lo que el patrón de covariación entre los módulos no se encuentra distribuido de acuerdo a un ordenamiento regional.

En resumen, la DIC afecta la integración morfológica del cráneo entre esplanocráneo y neurocráneo a través de la aplicación de una fuerza biomecánica disturbadora en este último. El presente trabajo muestra que existe un interesante patrón de integración a nivel craneal entre diferentes módulos con orígenes embrionarios diferentes, lo cual refleja los procesos subyacentes de crecimiento y desarrollo entre estructuras que comparten fronteras y espacios (Lieberman 2008). Por lo tanto, si acontece un cambio en la forma y/o función de alguno de los módulos de un sistema integrado, este cambio necesariamente afectará la forma y/o la función del otro módulo. La DIC probablemente limita el crecimiento del encéfalo en algunas direcciones, siendo esta última estructura uno de los mayores generadores de integración craneofacial (Lieberman 2011). Esta restricción en ciertos ejes del crecimiento, limita las direcciones hacia las cuales el encéfalo podría crecer gatillando una mayor integración entre neurocráneo y cara como sub-producto de lo anterior. Dependiendo de cómo son ejercidas estas presiones biomecánicas externas el patrón de covariación entre ambos módulos puede variar, lo cual es visible en como las diferentes tradiciones de DIC afecta la integración morfológica. Aunque la DIC es un “experimento natural” excelente para evidenciar el fenómeno de integración morfológica, es importante destacar que este último

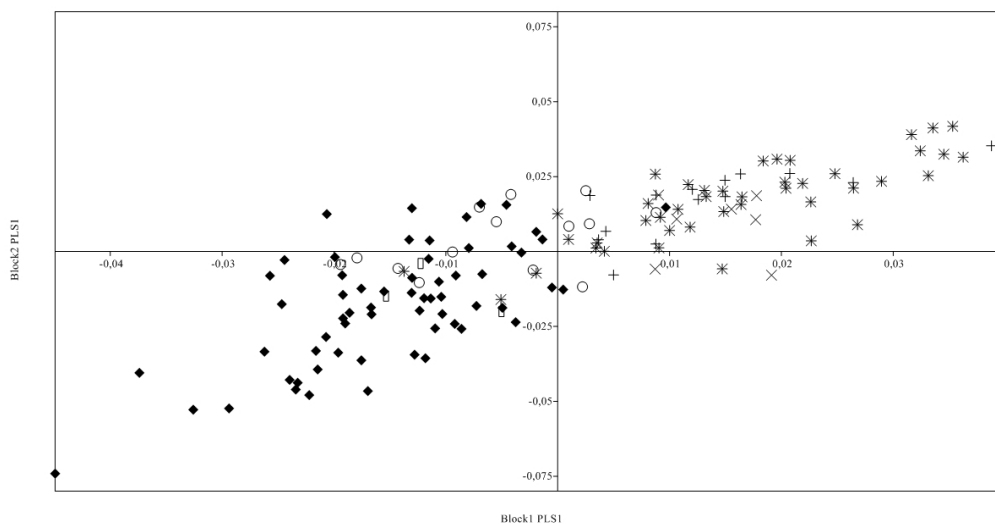


Figura 3.5: Gráfico de correlación para el PLS1 para los dos módulos (neurocráneo y esplacnocráneo) en Individuos Deformados.

fenómeno es un proceso inexorable causado por los procesos normales de crecimiento y desarrollo. La DIC al parecer solo modula e incrementa el grado de covariación entre los módulos.

3.1.5. Revalorización del Patrimonio

La presente tesis utilizó mayoritariamente muestras prehistóricas chilenas exhumadas en su mayoría por el R.P. Gustave Le Paige. Estos mismos cráneos provienen de sitios arqueológicos que abarcan un rango temporal extenso (ca. 400 A.C-1500 D.C.) y de un sector geográficamente delimitado. Constituyendo un patrimonio histórico que nos permite conocer más acerca de los orígenes de la arqueología en nuestro país y al mismo tiempo entregarnos una “ventana temporal” privilegiada acerca de la vida de las poblaciones que habitaron en el pasado los oasis de SPA. Personalmente considero que la presente tesis ha logrado contribuir humildemente al conocimiento sobre estos grupos humanos, y a la vez incentivar el respeto y revalorización de estas colecciones tanto por su valor científico, como también por su carácter patrimonial.

3.2. Conclusión

-A aquesta diligencia destas señalis para cognoscerse las personas de qué provincias eran parece poderse ayuntar la costumbre antigua, que tambien tenia cada provincia,

de formar las mismas cabezas, porque fuesen cognoscidos los vecinos, de cada una déllas; y así, cuando infantes, que acaban de nacer, y de allí adelante, mientras tenían las cabezas muy tiernas, les ataban ciertas vendas ó paños con que se las amoldaban segun la forma que quieren que tuviesen las cabezas; y así, unos las formaban anchas de frente y angostas de colodrillo; otros anchas de colodrillo y angostas de frente; y otros de otras maneras; finalmente, que en las formas de las cabezas tenían muchas invenciones, y ninguna provincia, al menos de las principales habia que no tuviese forma diferente de las otras cabezas- Fray Bartolomé de las Casas, de las antiguas gentes del Perú (1561).

Los resultados previamente mostrados nos permiten señalar que existen diferencias en la morfología de los cráneos deformados pertenecientes a poblaciones diacrónicas de SPA. Existe una mayor heterogeneidad durante el período Medio, incluyendo morfologías con compresiones occipitales más pronunciadas. Tanto el análisis de permutación para las distancias de Mahalanobis, como las comparaciones pareadas de Hotelling T2 con corrección de Bonferroni fueron altamente significativas (excepto en la comparación con el período Formativo). Sin embargo, estas diferencias son extremadamente menores en comparación a las diferencias existentes entre grupos geográficos diferentes, por lo que es factible sugerir la existencia de una tradición de DIC local para el área de SPA. De hecho, la diferencias morfológicas entre el Formativo y el PIT son mínimas, tan sólo incrementándose durante el período Medio. Esto puede deberse a que durante aquel período existe una mayor heterogeneidad en el patrón de DIC (mayor varianza), probablemente debido a la presencia de algunos individuos con deformaciones poco convencionales para dicha área, durante ese momento de la prehistoria atacameña.

En concordancia con la interpretación arqueológica tradicional, es posible señalar que la evidencia presentada en esta tesis, nos permite sugerir un patrón de DIC local para SPA que perdura a lo largo de su prehistoria. Esto contrasta con otros análisis diacrónicos realizados para la zona del Loa Medio, donde se observa una notoria discontinuidad morfológica entre las muestras del Formativo (i.e. Chorrillos) y las del PIT (i.e. Chunchuri). Esta continuidad en el patrón de DIC para gran parte de su prehistoria podría asociarse a la ausencia o escasez de influencias foráneas durante el período Formativo, sin embargo durante período Medio se evidencian influencias extranjeras en otras materialidades. Esto sugiere una decisión cultural de continuar deformando a sus niños de la manera tradicional, sin importar que se adopten productos foráneos o al menos con iconografía no-endémica. El hecho de que el análisis sincrónico nos muestra que al parecer cada región geográfica presenta un patrón de DIC característico, considerando la información etnohistórica para los Andes Centro-Sur, sugieren que la DIC era utilizada como un marcador de

identidad local por los distintos grupos de la región andina. Desde un punto de vista tradicional, parece ser que la DIC de SPA se asemeja al tipo “tabular erecto”, mientras que los cráneos de Arica y Tiahuanaco parecen ser más similares al tipo “anular oblicuo”. No obstante, estas categorías abarcan demasiada variación para ser realmente útiles. Resumiendo, los resultados del presente trabajo apoyan la hipótesis que considera a la DIC como una tradición local, con escasa a nula similaridad morfológica entre regiones, lo cual permitiría sugerir que esta práctica podría ser considerada como un marcador de identidad local.

Como contraparte al análisis de DIC, se calcularon distancias entre los individuos no-deformados de cada sub-muestra, con el fin de establecer afinidades biológicas. Se observó que ni el patrón deformatorio local de SPA se asemejaba al existente en otras regiones, así como que las distancias biológicas existente entre los no-deformados eran significativas, por lo que se podría descartar al menos parcialmente la posibilidad de flujo génico y/o influencia cultura sobre la DIC. De todos futuros análisis que combinen técnicas morfométricas y genéticas son necesarios para dar mejor cuenta del asunto.

En relación al problema de cómo la DIC afecta la modularidad e integración morfológica del cráneo humano es posible señalar diversos hechos. El análisis de los patrones de covarianza tanto en cráneos deformados, como no deformados, nos muestra que la DIC afecta la integración morfológica del cráneo, incrementando la covarianza entre neurocráneo y esplacnocráneo. Esto se puede deber probablemente a que la DIC afecta un proceso subyacente al desarrollo craneofacial, como es el desarrollo del encéfalo. La DIC actúa limitando los posibles ejes de variación del crecimiento del encéfalo, mediante la presión ejercida por vectores biomecánicos en tan sólo algunas direcciones. Esta limitación del crecimiento y desarrollo del encéfalo variará dependiendo de la tradición de DIC, pero dado que en su mayoría los tipos deformatorios comprimen de distinta manera los huesos frontal, parietales y/o occipital, es esperable que el crecimiento del neurocráneo sea dirigido en un eje antero-posterior. Aumentaría la interacción del modulo neurocraneal con el esplacnocráneo, lo que a su vez explicaría el incremento en la covarianza observada.

Más interesante resulta del hecho de que al parecer cada tradición de DIC diferente afecta este patrón de covariación de una manera particular. Este fenómeno probablemente ocurre debido a que diferentes aparatos deformadores ejercen diferentes vectores de fuerza (tanto en dirección como en magnitud). Estas diferencias en los vectores de fuerza pueden deberse a su vez por las propiedades de los distintos materiales con que fueron confeccionados los aparatos deformadores (i.e. madera, fibras, cuerdas, almohadillas, piedras, entre otros.) y al lugar donde fueron aplicadas las principales fuerzas de compresión.

Por otra parte, es posible pensar que la DIC podría haber afectado el desempeño individual, debido a que las estructuras óseas del cráneo participan en muchos módulos funcionales. Sin

embargo, el hecho de que todos los individuos considerados en este estudio fuesen adultos, y de que no haya evidencia de que la DIC afecte al *fitness*, quizás debido a la extrema plasticidad de la cabeza humana durante los primeros años de vida post-natal. Es por esto, que a futuro se necesitarán más análisis que nos permiten comprender de mejor manera como la DIC afecta a la biología de una persona. En este sentido, sería de gran utilidad continuar con esta línea de investigación, pero mediante la utilización de datos 3D y considerando a su vez la asimetría fluctuante. De igual manera, resultaría interesante poder desarrollar simulaciones biomecánicas del desempeño de cráneo deformados, en distintas funciones fisiológicas, como la masticación, respiración, entre otras.

Capítulo 4

Anexos

-Cell and tissue, shell and bone, leaf and flower, are so many portions of matter, and it is in obedience to the laws of physics that their particles have been moved, moulded and conformed. They are no exceptions to the rule that God always geometrizes. Their problems of form are in the first instance mathematical problems, their problems of growth are essentially physical problems, and the morphologist is, ipso facto, a student of physical science- D'Arcy Wentworth Thompson, *On Growth and Form* (1917).

4.1. Morfometría Geométrica

4.1.1. Introducción al Análisis Morfométrico

En un sentido muy amplio, la morfometría puede ser entendida como una aproximación cuantitativa a las preguntas y comparaciones acerca de la forma que desde siempre han interesado a los biólogos (Zelditch et al. 2004). En relación a lo anterior, se ha generado la distinción entre el concepto de morfología, que refiere primordialmente al estudio y descripción de las formas biológicas (Toro-Ibacache et al. 2010), y el concepto de morfometría, que sería la disciplina encargada del análisis cuantitativo de dichas formas (Slice 2007). En este sentido, ambas disciplinas se han preocupado acerca de algunas de las problemáticas clásicas asociadas al estudio de la forma en biología: ¿cual es la forma promedio de una estructura (e.g. órgano) en una población?, ¿Cuál es el patrón de variación poblacional alrededor de dicha forma promedio?, ¿Existen diferencias en la forma entre distintos grupos?, ¿Cuál es la importancia funcional/evolutiva/ecológica de dichas diferencias?, etc. Aunque se puede ver a la morfometría como una rama de la morfología -siendo esta una disciplina más general-, el énfasis metodológico diferencial entre ellas ha hecho

que históricamente se las distinga. Mientras la morfología tradicional ha puesto un mayor énfasis en la descripción y denominación de las distintas formas biológicas, la morfometría ha sido entendida como el campo de la estadísticas multivariadas interesado por aquellas (Slice 2007). Tradicionalmente los métodos utilizados en morfometría referían a la colecta sistemática de datos primarios de naturaleza lineal o angular, tales como distancias (e.g. largos y anchos), contornos (*outlines*) y ángulos. Sin embargo, recientes avances teóricos concernientes a la estadística de la forma, así como en desarrollo computacional y tecnológico, han llevado a la utilización de coordenadas cartesianas de hitos anatómicos (Kendall 1984; Goodall 1991). Este último enfoque ha sido denominado como Morfometría Geométrica, siendo lo particular de su aproximación, la retención de la información geométrica de una forma durante el curso de una investigación (Slice 2007).

Inicialmente, y en un sentido estricto la morfometría ha sido considerada como una rama de las matemáticas denominada estadística de la forma (Dryden y Mardia 1998; Zelditch et al. 2004), y de hecho muchos de los estudios pioneros en morfometría geométrica no tenían por foco ninguna pregunta de carácter biológico, sino que más bien de tipo matemático-arqueológico (Kendall 1977; Kendall y Kendall 1980). Quizás por este motivo, cuando las técnicas morfométricas se aplicaron a problemáticas de orden biológico a muchos les pareció en extremo matemático y carente en muchos casos de un anclaje en los fundamentos de las ciencias biológicas (Zelditch et al. 2004). En parte, lo anterior se debió a la dificultad de visualización y comunicación de los resultados morfométricos tradicionales, debido a que estos se entregaban en forma de largas tablas de números difíciles de aproximar a la realidad biológica. Aunque a nivel comparativo, la morfometría tradicional significó un gran avance por sobre los métodos morfológicos clásicos de tipo descriptivo y analógico (e.g. piriforme o con forma de pera), las dificultades recién señaladas, motivaron el continuo desarrollo en métodos que por una parte, permitiesen la adecuada partición de los componentes de la forma y el tamaño, así como una adecuada visualización de los resultados. Por esto último, las herramientas de la morfometría geométrica poseen grandes ventajas en relación a estos objetivos: por un lado entregan una descripción precisa y certera de las formas biológicas, sino que también permiten una adecuada visualización, interpretación y comunicación de los resultados (Zelditch et al. 2004).

La morfometría geométrica nos permite visualizar las complejas diferencias entre las distintas formas biológicas, y además poner a prueba distintas hipótesis sustentado firmemente en una base matemática adecuada. Aunque la preocupación por las cuantificación de las formas biológicas ha existido desde muchísimo tiempo (Slice 2005), es únicamente a partir del trabajo pionero en estadística multivariada, cuando se empieza a vislumbrar las potencialidades de la descripción cuantitativa de la forma, en comparación a las tradicionales descripciones cualitativas o la simple utilización de índices numéricos. El trabajo desarrollado por Galton, Pearson y Fisher en el desarrollo de diferentes estadísticos, permitió avanzar a grandes pasos, a la hora de estudiar la

variación de las formas biológicas, así como también su utilización en temáticas antropológicas (e.g. estudios de regresión lineal en estatura humana). Esta interacción entre la antropología biológica y el desarrollo estadístico ha continuado, a medida que los nuevos métodos de análisis de la forma han ido surgiendo y han sido utilizados para responder temáticas relativas a la biología humana. Es más, la disponibilidad de nuevos métodos morfométricos, muchas veces ha redundado en el desarrollo de nuevas líneas de investigación muchas veces impensadas (Slice 2005). En este sentido, la morfometría geométrica entrega distintas formas de analizar los datos utilizando las técnicas estadísticas multivariadas tradicionales, tras la separación de los componentes de la forma y el tamaño.

4.1.2. Definiciones:

Es necesario entregar algunas definiciones generales sobre algunos conceptos utilizados en la literatura morfométrica, pues esta -al igual que cualquier disciplina científica- posee múltiples neologismos, y conceptos derivado de la matemática y biología, que en muchos casos se alejan del sentido coloquial de los mismos. Slice et al. (1996) han actualizado un glosario de términos morfométricos disponibles *online* en la página web de Stony Brook dedicada a morfometría (<http://life.bio.sunysb.edu/morph/>). Aquí se detallan sólo los conceptos fundamentales, para una apreciación adecuada de la morfometría geométrica, basándose principalmente en dicho glosario.

Forma (*Shape*)

Corresponde a las propiedades geométricas de un objeto que son invariantes a la localización, escala y orientación -: *“all the geometric information that remains when location, scale and rotational effects are filtered out from an object”* (Kendall 1977) (Fig. 4.1).

Esta definición se centra en las propiedades geométricas de un objeto, de tal modo que se excluyen propiedades del objeto como la textura y/o el color, que podrían cumplir con los requerimientos de invarianza inicialmente señalados (Slice 2005). Para obtener aquellas propiedades geométricas que invariantes a la localización, escala y orientación del objeto, debemos utilizar mediciones invariantes tales como ángulos o proporciones, o métodos que nos permitan el registro de los datos en un sistema de coordenadas común, como puede ser mediante las superposiciones de Procrusto. En este último caso, los parámetros de localización, escala y orientación son “eliminados”, quedando tan sólo los componentes de la forma. No obstante esto no impide el estudio de la relación de la forma con otras fuentes de variación, como por ejemplo el tamaño, que puede ser relevante desde distintas problemáticas biológicas. En este sentido, en morfometría se utiliza

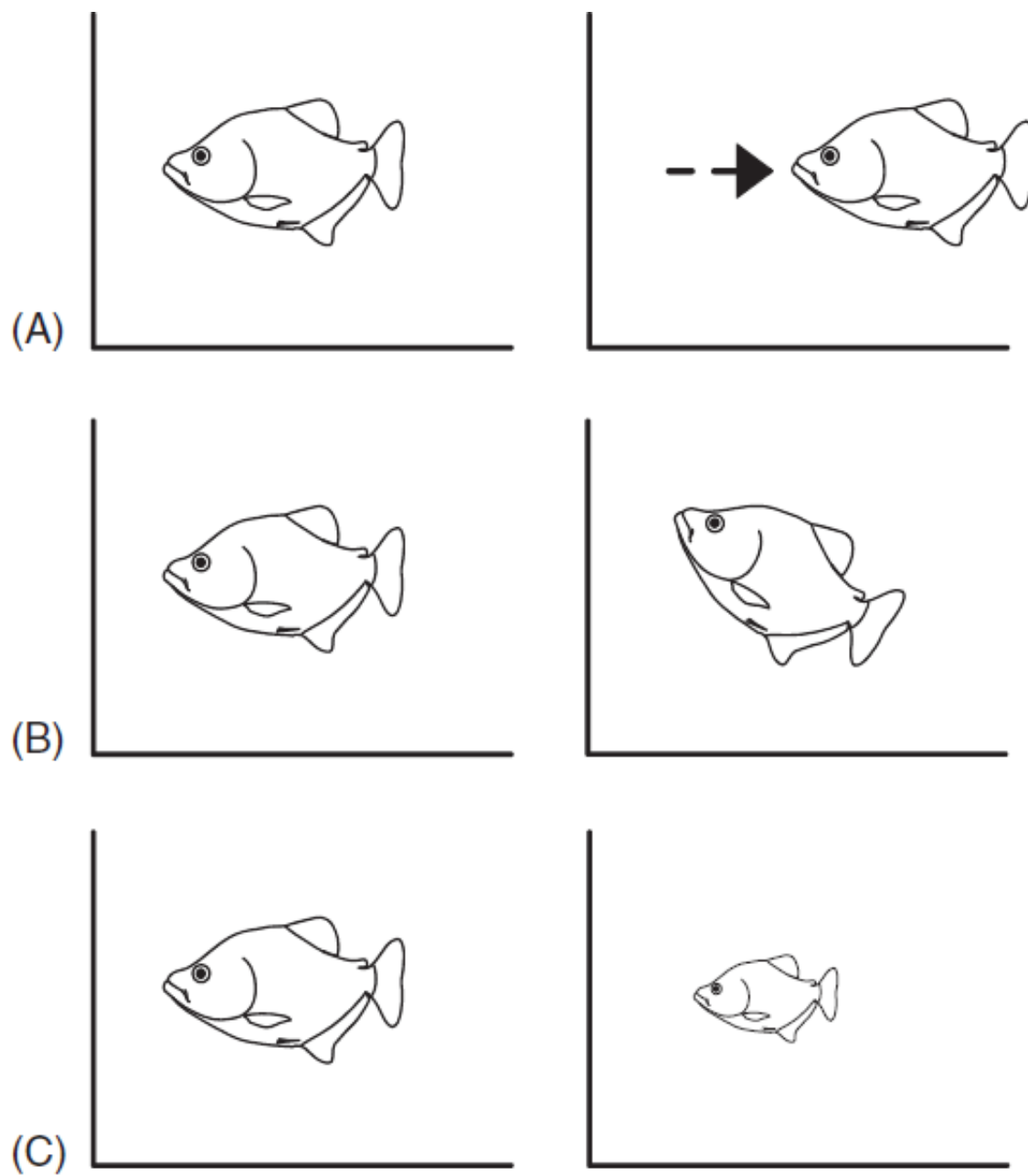


Figura 4.1: Las operaciones que no alteran la forma. a) Traslación, b) Rotación y c) Escalamiento. Zelditch et al 2004.

el término *form* para designar a los datos que contienen información tanto de forma como de tamaño.

Tamaño

Cualquier valor escalar, real y positivo medido de un objeto que da cuenta de su escala o magnificación. Como señala Slice (2005), usualmente refiere a mediciones lineales del tamaño, de la forma $g(X)$ que pueden ser caracterizados como:

$$g(aX) = ag(X)$$

donde X son los datos, $g(X)$ es la medida de tamaño, y a es algún factor de magnificación. Esto significa que si se calcula una medida de tamaño y escalamos estos datos por un factor a , la medida de tamaño será escalada a veces.

El tamaño ha sido considerado como un importante rasgo al comparar diferentes estructuras (Huxley 1932; Mosimann 1970), pues este tiende a presentar gran variación entre los sexos, poblaciones, especies e individuos. Esto ha llevado al desarrollo de métodos que permitan la separación entre los componentes del tamaño y otros factores que pudiesen participar de dicha variación. Entre los ejemplos más clásicos de esto se cuenta la suposición de que el PC1 de un análisis de componentes principales representaría únicamente al tamaño y el resto de los componentes a la forma u otras variables (dependiendo el origen de los datos). No obstante se ha señalado lo erróneo de tal razonamiento (MacLeod 2005). A partir de la definición de forma de Kendall (1977), se desprende que es necesaria una definición de tamaño independiente de la definición de forma (Zelditch et al. 2004). Se ha propuesto al tamaño del centroide (*centroid size*) como la medida de tamaño más adecuada a utilizar en morfometría geométrica. El tamaño del centroide se define como:

$$CS(X) = \sqrt{\sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^M (X_{ij} - C_j)^2}$$

esto es la raíz cuadrada de la suma de las distancias cuadradas del conjunto de hitos anatómicos (*landmarks*) al centroide, o equivalentemente, la raíz cuadrada de la suma de las varianzas de los hitos con respecto al centroide en los ejes x, y, z.

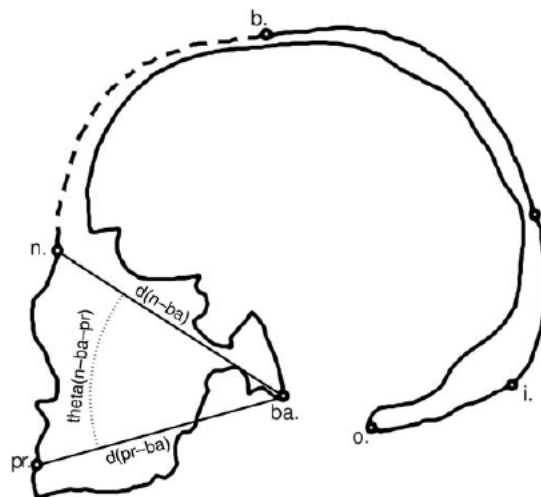


Figura 4.2: Sección transversal de un cráneo humano, mostrando los distintos tipos de datos morfométrico e.g. distancia (ba-n), contorno (b-n), ángulo ($\theta(n-ba-pr)$) y coordenadas: b.— bregma, n.—nasion, pr.—prosthion, ba.— basion, o.—opisthion, i.—inion, l.—lambda. (Slice 2005).

Variables de la Forma

Cualquier medición geométrica de un objeto que es invariante a la localización, escala y orientación del mismo (Slice 2005). Las variables de la forma pueden ser desde coordenadas cartesianas de puntos bien definidos, una cantidad suficiente de conjuntos de distancias entre puntos, las coordenadas de puntos utilizadas para trazar un contorno, diferencias angulares utilizadas para codificar el arco de una curva, etc.

Tipos de datos Morfométricos:

Las variables específicas usadas en algún análisis morfométrico, son escogidas dependiendo de la problema de investigación a resolver, el material de estudio, el equipo de adquisición de datos disponibles, y en menor o mayor medida la experiencia del investigador (Slice 2005). De todos modos, existen distintas clases generales de variables que son utilizadas más frecuentemente en los análisis de la forma, debido a sus propiedades particulares (más notablemente su invarianza con respecto a la localización, escala y orientación) (Fig. 4.2). Cada uno de estos tipos de variables morfométricas posee sus propios beneficios y limitaciones, al mismo tiempo que imponen ciertas restricciones a su procesamiento, análisis e interpretación.

Cabe recalcar, que estos diferentes tipos de variables poseen en común el supuesto de la identidad de los datos registrados para cada individuo (Slice 2005). Esto quiere decir, por ejemplo,

que la variable ancho bizigomático registrada en el individuo X, corresponde a la misma variable registrada en el individuo Y y denominada también como ancho bizigomático. Este principio de identidad puede aplicarse a variables individuales (como el ancho bizigomático), pero a veces se debe extender a conjuntos de variables, tales como series de puntos registrados alrededor de una curva; donde diversas variables -las coordenadas de los puntos-, se utilizan para caracterizar la estructura de interés.

Distancias, Proporciones y Ángulos

Las distancias son quizás el tipo de dato morfométrico más tradicional y mejor conocido. Son obtenidas a través de la utilización de cualquier instrumento que no entregue una magnitud entre dos puntos bien definidos como por ejemplo puntos craneométricos (Martin y Saller 1957; Bräuer 1988), o bien de acuerdo a alguna regla como el ancho craneal máximo (Howells 1973). Pueden ser líneas rectas, o curvilíneas, como cuando se miden distintos arcos craneales.

Entre las ventajas de las distancias, es que son independientes de la posición y orientación del objeto. Por lo que únicamente se debe remover el efecto del tamaño. Una manera de obtener esta invarianza es mediante la utilización de proporciones o índices que codifican la magnitud relativa de dos distancias. Sin embargo, la utilización de índices posee diversas limitaciones, como es la dificultad de utilizarlos en análisis estadísticos (Atchley et al. 1976; Atchley y Anderson 1978). Las distancias además poseen la limitación, de que sí no son elegidas cuidadosamente, resulta complicado preservar la información relacionada a las posiciones relativas de los hitos entre sí. De esta manera, podrían existir múltiples formas con un mismo valor de distancia entre sus puntos más distales, por ejemplo. Para solucionar problemas como el anterior, muchas veces se ha añadido al análisis multivariado los valores angulares entre tres hitos, los cuales poseen la cualidad de ser invariantes a la localización, orientación e incluso el tamaño (Slice 2005).

Combinando los valores de las distancias utilizadas para construir un ángulo, junto con su respectivo valor angular, permite preservar la posición relativa de los hitos entre sí. No obstante, mezclar datos medidos en diferentes escalas, puede ocasionar problemas en algunos análisis multivariados, como aquellos basados en matrices de varianza-covarianza. En estos casos se recomienda la utilización de la matriz de correlación, pues permite una estandarización de las escalas de medición, no obstante continua haciendo el análisis y la visualización, aún más abstractos. Otra solución sería calcular todas las distancias existentes entre los hitos (idea sobre la que se fundamenta el enfoque morfométrico EDMA o *Euclidean Distances Matrix*), lo cual también estandarizaría la posición relativa de los hitos, no obstante inflaría el número de variables y todavía existiría información relativa al tamaño que debe ser tratada posteriormente (Lele y Richtsmeier

2001).

Coordenadas de Hitos

Las coordenadas cartesianas de hitos anatómicos, son otro tipo de datos que pueden solucionar muchos de los problemas asociados a las distancias, índices y ángulos. Eso sí, también presentan sus propias y características limitaciones, que dificultaron su uso por mucho tiempo (Slice 2007). Las coordenadas pueden ser entendidas como un conjunto de distancias definidas en base a ejes ortogonales (2 o 3 dependiendo la dimensionalidad del dato crudo). Cuando estas coordenadas son situadas sobre alguna estructura anatómica, pasan a denominarse hitos (*landmarks*) y a menudo suelen utilizarse los mismo que definían los puntos finales de las distancias y ángulos (Slice 2005). Ahora bien, el análisis de coordenadas de hitos presenta sus propias problemáticas, las cuales nacen de la dificultad de definir ejes de referencia ortogonales con algún sentido biológico. De hecho, todos los intentos por definir estos ejes, implican la estandarización de los mismos (e.g. *Bookstein Shape Coordinates, Two-Point Registration*), lo que conlleva la transferencia de la varianza de los hitos que definen dicho eje al resto de los hitos que son libres de variar. En general la mayoría de los investigadores usualmente registra sus hitos con respecto a ejes arbitrarios y convenientes con su material de investigación, los cuales muchas veces son también únicos con respecto a especímenes individuales. Las coordenadas así registradas poseen información acerca de la orientación y localización con respecto a los ejes arbitrarios utilizados en su registro. El diferente posicionamiento de los especímenes al momento de la colecta de hitos, entrega diferentes resultados. Uno de los avances de la morfometría moderna (Slice 2005), se relaciona en cómo se extrae esta información relativa a la posición y orientación de los especímenes, así como también el tamaño.

Antes de explicar como se obtienen los componentes de la forma, conviene revisar el concepto de hito (*landmark*), sus distintos tipos y características. Un problema fundamental con respecto a los hitos de coordenadas, surge respecto a la posibilidad de comparar diferentes especímenes utilizando el mismo mapa de coordenadas, es decir, ¿cómo saber si los hitos utilizados son los mismos para todos los individuos bajo análisis? En este sentido, es necesario primero definir el tipo de estudio se está llevando a cabo, pues de eso dependerá si los hitos utilizados responden a consideraciones biomecánicas, ontogénicas, sistemáticas y evolutivas (Zelditch et al. 2004). Junto con lo anterior, los hitos deben ser 1) homólogos, 2) no deben alterar sus posiciones topológicas en relación a otros hitos, 3) entregar una adecuada cobertura de la estructura en estudio, 4) deben ser identificables con relativa facilidad y repetibles en todos los especímenes y 5) deben estar en el mismo plano (Zelditch et al. 2004).

1. **Homología:** Estructuras homólogas son aquellas derivadas de una estructura ancestral común (Darwin 1871; Gilbert 2003; Oxnard y O'higgins 2009). Cabe recalcar que mediante un mapa de homologías se busca describir lo mejor posible una forma de interés, por tanto el valor de los hitos en sí mismos puede ser escaso. Por ejemplo, si sitúa un hito en la pupila de un organismo, es bien sabido que ésta es tan sólo un orificio en la parte central del iris por el cual ingresa la luz hacia el globo ocular, por lo que difícilmente podría denominarse como una estructura. Sin embargo, el hito en la pupila en realidad está definiendo a una estructura -el globo ocular- (de hecho el hito se encuentra completa y únicamente “rodeado” por el tejido ocular), la cual es relativamente constante e identificable. En este sentido, la homología es en general establecida a partir de argumentos biológicos *a priori*. Por otra parte, se requiere además que los hitos sean discretos, claramente diferenciables.
2. **Consistencia en la posición relativa:** Se hace referencia a que las formas estudiadas no deben variar de manera tan radical en la posición de sus hitos, lo que podría ocurrir en casos donde haya superposición, transposición y/o desaparición de hitos (Zelditch et al. 2004; Toro-Ibacache et al. 2010). Lo anterior, conllevaría un cambio profundo en la configuración de hitos de coordenadas, cambiando su topología relativa, lo que a su vez genera problemas con el álgebra del análisis, y con la mayoría -sino todos- los *softwares* existentes de análisis morfométrico. Aunque muchos fenómenos interesantes desde un punto de vista biológico pueden implicar cambios profundos en las configuraciones de hitos, es deber del investigador configurar un mapa de homologías que permita el análisis de interés, pero que a la vez no viole los supuestos matemáticos requeridos.
3. **Cobertura adecuada de la forma:** el mapa de homología utilizado, debe representar de la mejor manera posible a la estructura estudiada. Un exceso de hitos puede llevar a análisis estadísticos poco confiables, especialmente si es que la cantidad de variables de la forma supera con creces al tamaño muestral. En este sentido, se recomienda a partir de análisis empíricos y/o simulaciones computacionales, que el tamaño de la muestra debiese ser por lo menos tres (Monteiro et al. 2002) a cuatro veces la cantidad de coordenadas de hitos, en concordancia al Teorema del Límite Central (Bookstein 1996). Por otro lado, un número insuficiente de hitos puede conllevar la pérdida de información valiosa relativa al problema de estudio, junto con dificultar la interpretación visual de los resultados producto de la exagerada abstracción, que mapas de homologías muy escuetos pueden traer consigo.
4. **Repetibilidad:** En general, el tema del error de medición en biometría ha sido una preocupación constante (Sokal y Rohlf 1995; von Cramon-Taubadel et al. 2007). En el caso de

los estudios concernientes a la Morfometría Geométrica, se ha puesto énfasis en la creación de mapas de homologías relativamente sencillos, para así evitar el error de medición (Zelditch et al. 2004). Se busca que los hitos sean de fácil localización, y que estén lo mejor definidos posible. De esta manera, si un hito o una porción de la configuración de hitos relativamente cercanos entre sí, presentan algún problema con su repetibilidad, los resultados finales podrían estar sesgados debido a un error de medición sistemático, que estaría generando variación de manera “artificial”. Para evitar este tipo de errores, es siempre necesario en estudios biométricos realizar estimaciones del error de observación intraobservador e interobservador (en caso de ser varios investigadores).

5. **Coplanaridad:** Cuando se realizan análisis en dos dimensiones de estructuras tridimensionales, como son las estructuras biomorfológicas, necesariamente se produce alguna distorsión y pérdida de un eje de variación. Ahora bien, dependiendo del problema de estudio en cuestión y la estructura analizada, este problema puede ser mayor o menor. Por ejemplo, existen estructuras biológicas como el ala de *Drosophila melanogaster* (Klingenberg 2011) o el tabique nasal humano, cuya variación ocurre mayoritariamente en dos dimensiones (e.g. eje anteroposterior o supero-inferior), por lo que casi no habría problema en tratarlas como estructuras 2D. Sin embargo, otras estructuras como un cráneo son eminentemente tridimensionales, donde muchas de sus estructuras y consecuentes hitos anatómicos se ubican no sólo en planos anteroposteriores, sino que también lateral y transversalmente. En este sentido, existe mucha información que se pierde en la conversión de una estructura 3D a un formato 2D como una fotografía (Toro-Ibacache et al. 2010). Por ejemplo, si una foto es tomada desde una perspectiva frontal, se pierde la información del plano sagital. A pesar de esta limitación y dependiendo del problema de estudio, se pueden utilizar formatos bidimensionales de estructuras 3D siempre y cuando se justifique adecuadamente. Por otra parte, el desarrollo de herramientas para la adquisición de datos tridimensionales ha permitido superar muchas de estas desventajas.

El concepto de homología tiene un rol clave en morfometría geométrica, no obstante también debió haberlo sido con la morfometría lineal. Por ejemplo, ¿son homologas medidas como el ancho máximo facial cuando se comparan humanos con gorilas? y ¿cuando se comparan humanos con una población de *Tyrannosaurus rex*? Estas medidas muchas veces no son homologas debido a que se miden de distintas maneras y a partir de distintos hitos, en diferentes organismos. En este sentido, es tan sólo a partir de la morfometría geométrica que ha cobrado mayor importancia los criterios de homología. Básicamente se reconoce a una estructura como homologa de otra, cuando éstas son discretizables de alguna manera (es decir, que son distinguible de otras estructuras diferentes

bajo algún criterio en particular), y reconocibles en todos los especímenes a analizar (Zelditch et al. 2004). Un *landmark* debe poseer correspondencia entre los distintos individuos (ser equivalente), pero además debe ubicarse en un mismo locus anatómico. Si una estructura es discretizable y reconocible en varios individuos, se puede decir que es homóloga, por lo que pequeños puntos pueden ser situados en sectores de estas estructuras, y ser considerados como puntos homólogos (Zelditch et al. 2004). El marco matemático para la idea de homología en morfometría geométrica se relaciona al concepto de deformación, pues éste extiende la idea de correspondencia entre los hitos muestreados, a hitos que se “encuentran” entre ellos. Esto se entiende al usar algún modelo de deformación como la función de placa delgada (*thin-plate spline*), la cual permite visualizar el cambio en la forma que se extiende sobre toda la forma, aún cuando se utilicen únicamente algunos hitos para representarla.

En relación al problema acerca de la homología de los hitos utilizados, existen también problemáticas asociadas a la calidad de los hitos, en relación a su definición anatómica y al criterio de homología utilizado en su definición. Diversos autores han clasificado de distintas maneras a los hitos anatómicos, pero aquí se seguirán las ya clásicas clasificaciones de Bookstein (1991) y Dryden y Mardia (1998):

- **Tipo 1:** Corresponden a hitos fácilmente distinguibles y ubicados en posiciones inequívocamente homólogas, por ejemplo en la intersección de tres estructuras, intersección de curvas, centros de estructuras muy pequeñas. Se ubican frecuentemente en las zonas de diferenciación tisular o yuxtaposición discreta de estructuras, tales como intersecciones en las suturas craneales o el centro de pequeños forámenes. Idealmente este es el tipo de hitos que debiese predominar en un mapa de homologías, debido a que son los que mejor cumple con los requisitos previamente explicados acerca de los hitos. Permiten describir de manera más precisa distintos procesos biológicos tales como secuencias ontogénicas o filogenéticas (Toro-Ibacache et al. 2010). Este tipo de hito se corresponde con lo que se conoce como hito anatómico, es decir con un punto que se corresponde en términos biológicos y que sea homólogo (Dryden y Mardia 1998).
- **Tipo 2:** Son hitos ubicados en zonas de curvatura máxima, donde usualmente existe la aplicación de fuerzas biomecánicas. Ejemplos son los puntos más prominentes de las inserciones musculares, las cúspides de molares. Debido a como se generan estos hitos (ubicados en zonas de máxima curvatura), no se posee información de la dirección de movimiento del hito en al menos una dirección.
- **Tipo 3:** Han sido caracterizados como aquellos hitos cuya definición se encuentra dada por

estructuras distantes. En general, la mayor parte de los hitos utilizados en morfometría lineal corresponden a este tipo de hitos (e.g. largos y anchos máximos, diámetros, constructos geométricos, etc.). Usualmente estos hitos se encuentran asociados al tamaño, poseyendo relativamente escasa información acerca de la forma. Se sugiere utilizar una cantidad limitada de estos hitos, justificando su presencia en un mapa de homologías y considerando sus limitaciones a la hora de interpretar resultados.

- **Pseudohitos:** Son aquellos hitos contruidos a partir de definiciones matemáticas y anatómicas, como puntos tangentes a una curva. Pueden generarse como puntos entre hitos anatómica y/o matemáticamente definidos. Dependiendo de las relaciones entre este tipo de hitos y las estructuras analizadas, pueden equivaler a un hito tipo 3.
- **Semi-hitos:** Los Semi-hitos (*semilandmarks*) corresponden a puntos localizados en curvas o contornos, de acuerdo a la posición de otras estructuras o hitos, y que pueden desplazarse levemente en ella. De igual manera que con los pseudo-hitos y los hitos tipo 3, la información que se puede obtener de estos hitos es menor, por lo que deben considerarse como parte de un todo. Se utilizan mayoritariamente para el estudio de formas biológicas carentes de hitos homólogos.

Contornos

Los contornos (*outlines*) corresponden al tipo de dato que se obtiene para describir formas complejas, muy curvas o que no permiten la localización de ningún hito de manera discreta y distinguible (Lestrel 1997). Ejemplos de algunas estructuras difíciles de capturar mediante coordenadas pueden ser el foramen magno, la órbita ocular, estructuras neurocraneales como las eminencias frontales y parietales, entre otras. Los contornos se utilizan para describir fronteras entre estructuras, o zonas de máxima o mínima curvatura (rasgos continuos unidimensionales). Los contornos son conjuntos de puntos discretos que se utilizan para describir una curva, a diferencia de las coordenadas, lo que se compara es toda la estructura continua descrita por los puntos, y no estos mismos puntos individuales (Slice 2005). De hecho, las coordenadas de puntos que definen al contorno, sólo son informativas en el sentido en que describen la posición relativa del contorno en la región alrededor del punto muestreado en relación a su posición en los otros puntos. Existen diferentes tipos de contornos, y por tanto diferentes tipos de análisis relacionados con este tipo de datos. Sin embargo, en general se les puede clasificar como simples, si pueden ser descritos mediante una función de valor único de otra variable (e.g. $y = f(x)$), o complejos si es que no pueden ser descritos mediante funciones como las recién descritas (Rohlf 1990). Otra

manera de clasificar a los contornos, es si es que son abiertos (poseen un inicio y un final) o cerrados (no poseen principios ni finales claros) (Rohlf 1990).

4.1.3. Métodos de Estandarización Morfométrica para el Análisis de la Forma

Morfometría Lineal

Estos métodos se caracterizan por la utilización de la estadística multivariada (Marcus 1990). Sus datos son en general distancias, índices y/o ángulos. Como se ha revisado previamente, estos métodos rara vez preservan las relaciones geométricas del objeto de estudio durante el análisis.

Así por ejemplo, muchos autores han interpretado el primer componente (PC1) de un análisis de componentes principales (PCA) como la variables que resume la variación debida al tamaño (debido a que este explica la mayor cantidad de varianza), mientras que los componentes restantes representarían la variación debida a la forma (MacLeod 2005). Existe una idea simplista de que el primer eje sería un eje de “solo-tamaño”, lo cual es erróneo. El primer eje de un PCA puede representar variación debida al tamaño, pero este cambio no tiene porque ser isométrico (Shea 1985). En este sentido, sólo si el primer eje longitudinal posee una pendiente igual a uno con respecto a todos los demás ejes, se podría considerar que es isométrico-multivariado y que no habría cambio de forma asociado a cambio de tamaño. No obstante, a menudo la pendiente es diferente a uno con respecto a los demás ejes, por lo que cambios en el eje de “tamaño” (primer eje), irán acompañados por cambios en la forma. Es a causa de lo anterior, que algunos autores han propuesto que el primer eje sea denominado “eje de forma tamaño-determinado”, y no eje de “solo-tamaño” (McKinney y McNamara 1991). De modo sucinto, es posible decir que la idea de que el primer eje de un PCA represente exclusivamente una variable de tamaño libre de forma, y que los subsecuentes componentes o factores sean variables de la forma es demasiado ingenua y ha sido cuestionada. Esta idea tan común se basa en suposiciones no siempre puestas a prueba (e.g. cambio isométrico del primer eje con respecto a los demás ejes), junto con no sustentarse en una estadística de la forma bien desarrollada, como es el caso de la Morfometría Geométrica (MacLeod 2005).

Otras soluciones propuestas han sido la utilización de variables de la forma de Mosimann (Darroch y Mosimann 1985), que consisten en dividir cada variable por la media geométrica de la muestra. La media geométrica se calcula como la raíz enésima del producto de todas las n variables X : $GM = (X_1 X_2 \dots X_n)^{\frac{1}{n}}$. Esta estandarización en teoría permitiría remover, al menos parcialmente, el efecto del tamaño (Darroch y Mosimann 1985; Jungers et al. 1995). Otra

solución propuesta como estandarización del efecto del tamaño ha sido la utilización de puntajes Z, que no son más $z = \frac{x-\mu}{\sigma}$, siendo x el valor de la variable, μ el promedio y σ el valor de la desviación estándar. Sin embargo, debido a la naturaleza unidimensional de sus datos primarios, estas soluciones presentan las mismas limitaciones que presenta la visión de los ejes de "solo tamaño".

Morfometría Geométrica

Surge en pos de solucionar muchas de las limitaciones de la morfometría lineal. Un método es particionar la varianza total de los datos crudos en componentes de la forma y no-forma, a través de la superposición de todas las configuraciones a un sistema de referencia común y escalándolas a un tamaño común (Slice 2005). Para datos 2D, es posible especificar las coordenadas de dos hitos, para definir un eje o línea de base (*baseline*) que especifique una orientación común, y que a su vez sea escala a un tamaño común. Esta técnica es conocida como "*two-point registration*" o "*base-line registration*" (Bookstein 1991). No obstante, este método posee serias limitaciones como es establecer una línea de base invariante con algún significado biológico, además de las transferencia de la varianza de la línea de base a los demás hitos, debido al escalamiento de dicho eje (Zelditch et al. 2004).

Por otro lado la técnica de estandarización más utilizadas para eliminar las diferencias debidas a rotación, escala y traslación es el análisis de Procrustes (Fig. 4.3). Estas técnicas fueron desarrolladas por Kendall (1984), quién las pensó con el fin de estudiar rocas megalíticas de Inglaterra. La superposición de Procrustes es un método de mínimos cuadrados (*least-squares method*), que estima los parámetros para la localización y la orientación que minimizan la suma de distancias cuadradas entre los hitos correspondientes en dos configuraciones (Slice 2005). En este sentido, la superposición de Procrustes comienza con un conjunto de configuraciones de coordenadas de hitos, tal cual fueron registrados, y sucesivamente va removiendo la variación producto del tamaño, posición y orientación (Klingenberg 2010).

El procedimiento se inicia escalando las configuraciones a un mismo tamaño (previo cálculo del tamaño del centroide) y moviéndolas a una posición también estandarizada. Con el fin de remover la variación debida a la posición, todas las configuraciones son trasladadas de tal manera que sus centros de gravedad (centroides) se ubiquen en el origen del sistema de coordenadas (Klingenberg 2010). Por último, las configuraciones de coordenadas de hitos anatómicos son rotadas con respecto a este centro de gravedad común, para así llevar a todas las configuraciones hacia una orientación óptima, en la cual la sumatoria de las desviaciones cuadradas entre los hitos correspondientes es mínima (Zelditch et al. 2004). La variación en las coordenadas de

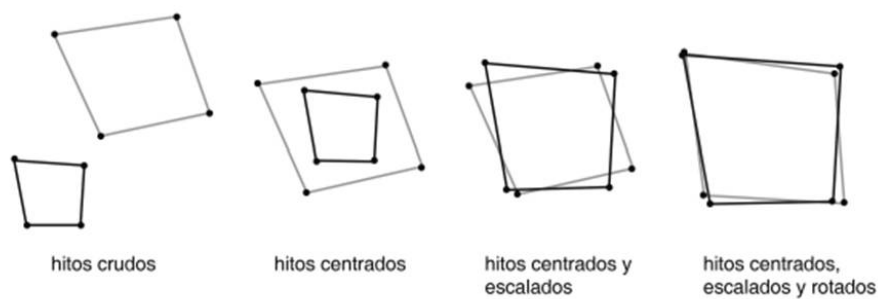


Figura 4.3: Pasos de la Superposición de Procrusto: Traslación a un centroide común, escalamiento al mismo tamaño de centroide y rotación para minimizar la suma de distancias cuadradas entre los hitos correspondientes. <http://www.virtual-anthropology.com/virtual-anthropology/geometric-morphometrics/procrustes-superimposition>.

hitos tras la superposición de Procrusto, es la variación de la forma. Dichas coordenadas pueden ser así utilizadas en los subsecuentes análisis. Dado que esta variación de la forma refiere al desplazamiento relativo de los *landmarks* entre sí en muchas direcciones, es necesario utilizar métodos multivariados (Klingenberg y Monteiro 2005).

La variación de la forma puede ser caracterizada en espacios de la forma (*shape spaces*), los cuales representan todas las formas posibles para un número dado de hitos de coordenadas mediante puntos, por lo que las distancias existentes entre los distintos puntos representan la similitud relativa entre distintas formas (Klingenberg y Monteiro 2005).

Los espacios de la forma son espacios complejos no-euclideos, lo que imposibilita la aplicación de estadísticas multivariadas convencionales. Por ejemplo, para la forma más simple -los triángulos- el espacio de la forma es la superficie de una esfera, mientras que para formas más complejas son espacios hiperdimensionales difíciles de imaginar (Dryden y Mardia 1998). Es posible realizar una proyección de las coordenadas de hitos en el espacio de la forma en un plano tangente, de forma análoga a la cartografía, sin mayores deformaciones. Esto permite la linearización de las coordenadas de hitos, lo que a su vez posibilita la utilización de la estadística multivariada convencional. Diversos trabajos han mostrado, que esta proyección entrega una aproximación bastante acertada de las posiciones en el espacio de la forma, incluso en escalas de variación morfológica (Marcus et al. 2000), como las existente en estudios del desarrollo (Hallgrímsson et al. 2009) o de diversificación morfológica a gran escala (Drake y Klingenberg 2010).

Finalmente, además de la superposición de Procrusto han surgido otro tipo de estandarizaciones que intentan superar algunas de las limitaciones que este último método posee, debido a basarse en mínimos cuadrados (*least-squares*) (Siegel y Bensen 1982). El problema radica en que si una o

unas pocas coordenadas de hitos se encuentran muy desplazadas con respecto al resto de los demás *landmarks*, estas diferencias localizadas podrían aumentar “artificialmente” la distancia cuadrada entre las distintas configuraciones. La superposición de Procrusto basada en mínimos cuadrados haría que esta variación altamente localizada se propague en todas las demás coordenadas de hitos, produciendo en cada una de ellas una pequeña variación (Slice 2005). Este fenómeno ha sido denominado en la literatura morfométrica como efecto Pinocho (*Pinocchio effect*) (von Cramon-Taubadel et al. 2007), pues aunque sólo la “nariz del muñeco” cambie de tamaño, la superposición de Procrusto indicaría variación en toda la “cabeza del niño de madera” (suponiendo que el mapa de hitos cubre todo el cráneo). Una solución sencilla a este problema es simplemente elaborar mapas que eviten hitos muy desplazados y altamente variables, como puntos más distales de un hocico por ejemplo. Otra solución consiste en realizar una estandarización no sustentada en mínimos cuadrados. El enfoque más conocido para identificar diferencias locales, es conocido como ajuste resistente o *resistant fit* (Rohlf y Slice 1990; Seigel y Bensen 1982; Slice 1996). Este conjunto de métodos se basa en la utilización de medianas o medianas de medianas (medianas repetidas), con el fin de estimar los parámetros de traslación, escala y rotación para la superposición. No obstante lo anterior, en general hay un consenso que los métodos de Procrusto son mejores para el análisis estadístico, además de encontrarse teóricamente más desarrollados (Dryden y Mardia 1998).

4.1.4. Espacios Morfométricos

Son espacios matemáticos multidimensionales, generalizables como una hiperesfera, la cual es la extensión hiperdimensional de una esfera (Slice et al. 2006). Cuando se estudia la forma más simple posible de construir (triángulos), el espacio que los contiene es una esfera, una figura conocida y por tanto útil como ejemplo para describir a los distintos espacios morfométricos:

El espacio de las configuraciones

Todas las formas posibles de una configuración $k \times m$ idéntica (en sentido matricial) se encuentran contenidas en este espacio, describiendo un proceso de cambio morfológico estocástico. Este es un espacio donde las configuraciones geométricas de mayor similitud se ubicarán más próximas (Kendall 1977; Dryden y Mardia 1984; Zelditch et al. 2004). Si el objeto de estudio son formas biológicas, aquellas de mayor semejanza en términos morfológicos se encontrarán en áreas comunes del espacio. En este espacio se realizan dos procedimientos; la remoción de la traslación y la escala (Kendall 1977).

El espacio pre-Kendalliano (*pre-shape space*)

Tras remover las diferencias debidas a traslación y escala, las configuraciones en estudio se ubican ahora en un espacio de menos dimensiones que el anterior, debido a la remoción de grados de libertad por tamaño y traslación (Zelditch et al. 2004). El escalamiento reduce una dimensión y en estructuras bidimensionales, las traslación “elimina” dos (al centrar las configuraciones siguiendo los ejes x e y , mientras que para estructuras tridimensionales se “pierden” tres (al centrar las configuraciones siguiendo los ejes x , y , z). Es en este espacio donde se realiza el ultimo procedimiento para llegar al espacio de la forma; la remoción de las diferencias causadas por rotación. Básicamente se rota a las configuraciones geométricas analizadas para que estas se encuentren lo más cerca posible de la configuración de consenso (o de promedio multivariado), librándose así del efecto de la rotación. Es importante señalar que cuando se busca que las configuraciones geométricas se ubiquen lo más cerca posible, se refiere a que se desea minimizar las distancias de Procrustes entre ellas. El estimador de la métrica de los espacios morfométricos es la distancia de Procrustes, la cual se mide en radianes y toma en consideración la curvatura del espacio por descomposición vectorial (Rohlf 1990; Toro-Ibacache et al. 2010).

El espacio de la forma (espacio de Kendall)

Tras eliminar el efecto de la rotación de las configuraciones geométricas se obtiene el *shape-space*. Este espacio tiene aún menos dimensiones que el *pre-shape space*: para las figuras de dos dimensiones se remueve una dimensión, pues estas pueden rotar tan sólo en un eje, mientras que se eliminan tres dimensiones en las figuras volumétricas puesto que poseen tres ejes de rotación. Formalizando con k igual al número de coordenadas y d al número de dimensiones, se tiene que para 2D y 3D la eliminación de dimensiones a través de los distintos espacios es (Zelditch et al. 2004):

$$2D : 2k - 4d$$

$$3D : 3k - 7d$$

Vale decir que se eliminarán para las figuras bidimensionales 1 dimensión por escala, 2 por traslación y 1 por rotación, mientras que para las figuras tridimensionales serán 1 por escala, 3 por traslación y 3 por rotación. Otro a punto a destacar, es que en el espacio de Kendall el tamaño de las configuraciones será transformado nuevamente, pues el hecho de escalar a un tamaño fijo (como en ocurrió en los espacios anteriores), genera que las distancias de Procrustes (en este caso parciales) aún no sean las mínimas posibles. Por tanto en el espacio de Kendall se realiza un procedimiento matemático que ajuste el tamaño de los centroides de las configuraciones, haciéndoles

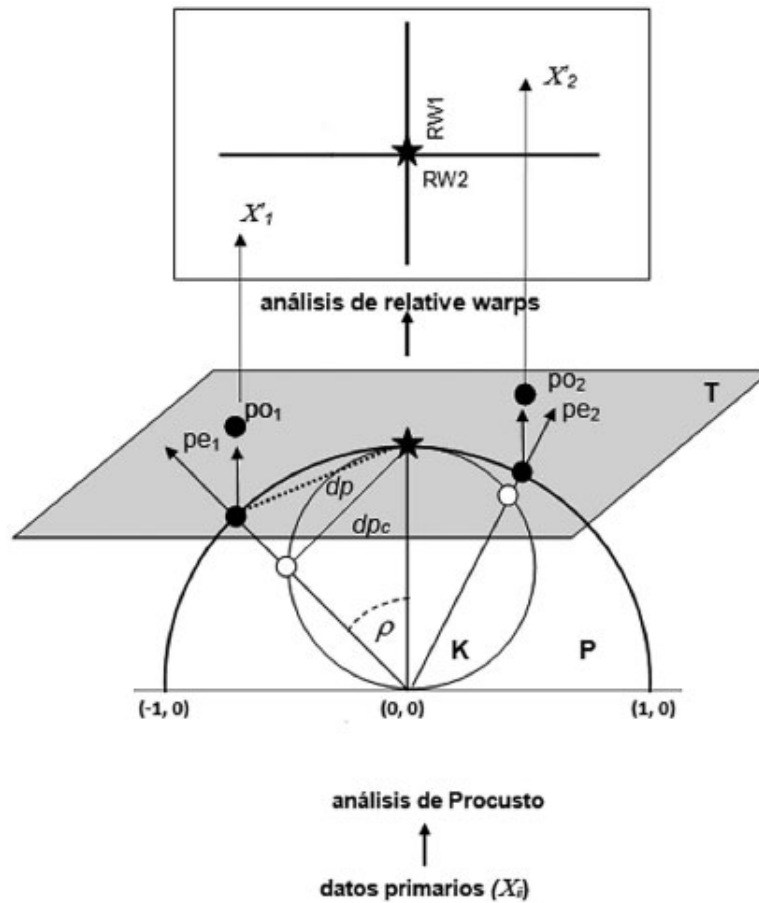


Figura 4.4: Espacio de la Forma y su proyección a un plano tangente (Toro-Ibacache et al. 2010).

variar hasta alcanzar la menor distancia de Procrustes (en este caso completa) a la configuración de consenso.

La teoría elaborada por Kendall es sin lugar a dudas la base del moderno desarrollo de la morfometría, no obstante existe un problema si se desea utilizar las herramientas multivariadas estándar a estos espacios no-euclideos. La solución propuesta es la proyección a un plano tangente al espacio de la forma (Fig. 4.4). Las configuraciones geométricas son proyectadas usualmente de manera ortogonal, a este plano tangente de naturaleza euclídea donde se pueden utilizar las herramientas estadísticas multivariadas tradicionales. Aunque como bien se sabe, la proyección de una esfera a un plano (e.g. en la elaboración de mapas cartográficos) produce distorsiones. Las diferencias entre las estructuras biológicas analizadas en general no son tan elevadas, por lo que la mayoría de las configuraciones se ubica cerca del consenso, el cual al ser el punto tangente con el plano no posee distorsión. Posteriormente con la información ahora en el plano tangente, es posible realizar todo tipo de análisis exploratorios, descriptivos y confirmatorios.

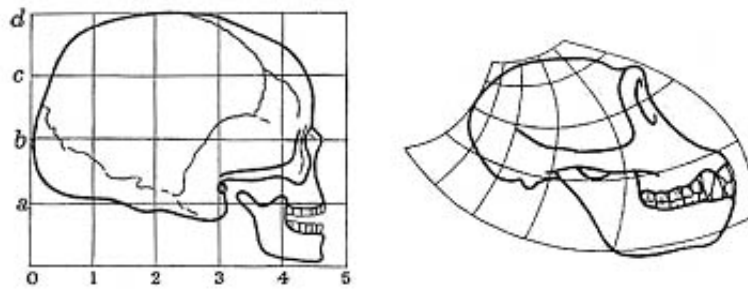


Figura 4.5: Grillas de transformación de *Homo sapiens* a *Pan troglodytes* (Thompson 1917).

4.1.5. Visualización de los cambios de la Forma

Dentro del set de herramientas de la morfometría Geométrica, se han desarrollado métodos para permitir una adecuada visualización de los cambios en la forma. Esta es otra de las ventajas de la morfometría geométrica con respecto a la morfometría lineal, cuyos resultados eran usualmente presentados en extensas tablas muchas veces difíciles de interpretar. Una de las maneras más utilizadas para visualizar los cambios de la forma en morfometría geométrica es mediante la función de placa delgada o *thin plate spline* (TPS). Esta función corresponde a una función de interpolación que permite representar los cambios entre una forma y otra de manera continua. Esta función fue adecuada a la biología desde la ingeniería por Bookstein (1991), y es usualmente descrita como la metáfora de una placa de metal infinitamente delgada donde se encuentra la configuración de hitos. Siguiendo a Bookstein (1991), si lo que se desea es visualizar el cambio desde una configuración a otra, lo que se debe hacer es superponer los hitos homólogos de cada una de las configuraciones, manteniendo a una fija como “molde”. Dado que las configuraciones en comparación son diferentes (a menos que se compare una configuración consigo misma). El resultado obtenido será que la placa “blanca” se deformará, lo cual variará en magnitud dependiendo de las diferencias entre las formas. El nivel de deformación se mide en energía de torsión (*bending energy*), la cual puede ser utilizada para generar variables de la forma consistentes con la reducción de dimensiones previamente mencionada. La función de placa delgada es compatible con el análisis de Procrustes, y las variables de la forma obtenidas se denominan *partial warps*, y son perfectamente utilizables en análisis estadísticos convencionales. Así por ejemplo los PCA utilizando los *partial warps* son *relative warps*, y son análogos a un PCA convencional, de igual manera un PLS realizado utilizando estas variables de la forma se denominará *singular warps* (Bookstein 1991; Rohlf y Corti 2000).

Existen a su vez varias maneras de visualizar las transformaciones producidas por la función de placa delgada. La más utilizada es utilizando una grilla en la “superficie de las placas” -a la manera pionera de D’arcy Thompson (1917) -, y si existe contracción o expansión (o cualquier resultado

que mantenga las líneas de la cuadrícula de la grilla paralelas) se tratará de una deformación de tipo uniforme. Por otra parte, si la deformación ocurre en regiones altamente localizadas y las líneas de la cuadrícula de la grilla pierden su paralelismo, se trata de una deformación del tipo no-uniforme o no afín. Las formas biológicas presentan ambos tipos de deformación, y aunque en un inicio se solía separar a estos componentes, en la actualidad existe un consenso de que no hay base biológica alguna para realizar dicho procedimiento, y por tanto se prefiere trabajar con la deformación en conjunto.

Bibliografía

- [1] Aichel, O. y G. Möller-Holst. 1932. *Ergebnisse einer Forschungsreise nach Chile-Bolivien. Otto Aichel: Die künstliche Schädeldeformation. 3. Gunnar Möller-Holst: Der äussere knöcherne Gehörgang südamerikanischer Schädel. 4. Otto Aichel: Epicanthus, Mongolenfalte, Negerfalte, Hottentottenfalte, Indianerfalte. 1. Otto Aichel: Einführende Bemerkungen.* Stuttgart: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung.
- [2] Allison, M.J., E. Gerszten, J. Munizaga, C.M. Santoro, y G. Focacci. 1981. "La Práctica De La Deformación Craneana Entre Los Pueblos Andinos Precolombinos." *Chungará* 7:238–260.
- [3] Alpers, C. y G. Brimhall. 1988. "Middle Miocene climatic change in the Atacama desert, northern Chile: evidence from supergene mineralization at La Escondida". *Geological Society of America Bulletin* 100:1640-1656.
- [4] Antón, S.C., 1989. "Intentional cranial vault deformation and induced changes of the cranial base and face". *American Journal of Physical Anthropology* 79:253-267.
- [5] Arriaza, B. T. 1995. *Beyond Death: The Chinchorro Mummies of Ancient Chile.* Smithsonian Institution.
- [6] Atchley, W. R., C. T. Gaskins y D. Anderson. 1976. "Statistical Properties of Ratios. I. Empirical Results". *Systematic Zoology* 25(2):137.
- [7] Atchley, W. R. y D. Anderson. 1978. "Ratios and the Statistical Analysis of Biological Data". *Systematic Zoology* 27(1): 71.
- [8] Baylac, M. y M. Frieß. 2005. "Fourier Descriptors, Procrustes Superimposition, and Data Dimensionality: An Example of Cranial Shape Analysis in Modern Human Populations". En *Modern Morphometrics in Physical Anthropology*, editado por

Dennis E. Slice, 145–165. *Developments in Primatology: Progress and Prospects*. Springer US.

- [9] Berenguer J., Deza A., Román A. y A. Llagostera .1986. “La secuencia de Myriam Tarragó para San Pedro de Atacama: Un test por termoluminiscencia”. *Revista Chilena de Antropología* 5:17-54.
- [10] Berenguer J. y Dauelsberg P. 1989. “El norte grande en la orbita de Tiwanaku (400 a 1200 d.C.)”. En *Culturas de Chile. Prehistoria: desde sus orígenes hasta los albores de la conquista*, editado por Hidalgo J., Schiappacasse V., Niemeyer H., Aldunate C. y I. Solimano, 129-180. Editorial Andrés Bello, Santiago.
- [11] Berenguer J. 2000. *Tiwanaku: Señores del Lago Sagrado*. Museo Chileno de Arte Precolombino, Santiago.
- [12] Bernal, V., González P., Pérez I. y M.C. Del Papa. 2004. “Evaluación del Error Intraobservador en Bioarqueología.” *Intersecciones en Antropología* 5:129–140.
- [13] Bernal, V. 2007. “Size and Shape Analysis of Human Molars: Comparing Traditional and Geometric Morphometric Techniques.” *HOMO - Journal of Comparative Human Biology* 58 (4): 279–296.
- [14] Binford M.W., Kolata A.L., Brenner M., Janusek J.W., Seddon M.T., Abbott M. y Curtis J.H. 1997. Climate variation and the rise and fall of an Andean civilization. *Quaternary Research* 47:235–248.
- [15] Blackwood, B., y P. M. Danby. 1955. “A Study of Artificial Cranial Deformation in New Britain.” *The Journal of the Royal Anthropological Institute of Great Britain and Ireland* 85(1/2): 173.
- [16] Blakely, R., y D. S. Mathews.1973. “Demographic Model of the Etowa Village Population.” *Bulletin of the Georgia Academy of Science* 33: 166–179.
- [17] Blom, D. E. 2005. “Embodying Borders: Human Body Modification and Diversity in Tiwanaku Society.” *Journal of Anthropological Archaeology* 24, no. 1: 1–24.
- [18] ——— 1999. “Tiwanaku Regional Interaction and Social Identity: A Bioarchaeological Approach”. PhD, University of Chicago.

- [19] Blumenbach, J. F. 1776. *De generis humani varietate nativa liber: cum figuris aeri incis.* apud viduam Abr. Vandenhoeck.
- [20] Boada Rivas, A. M. 1995. "La Deformación Craneana Como Marcador De Diferenciación Social." *Boletín Museo Del Oro* 38-39: 135–147.
- [21] Bookstein, F. L. 1996. "Biometrics, Biomathematics and the Morphometric Synthesis." *Bulletin of Mathematical Biology* 58, no. 2: 313–365.
- [22] ——— 1997. *Morphometric Tools for Landmark Data: Geometry and Biology*. Reprint. Cambridge University Press.
- [23] Bookstein, F.L., P. Gunz, P. Mitteroecker, H. Prossinger, K. Schaefer, y H. Seidler. 2003. "Cranial Integration in Homo: Singular Warps Analysis of the Midsagittal Plane in Ontogeny and Evolution." *Journal of Human Evolution* 44, no. 2: 167–187.
- [24] Brain, R. 1979. *The decorated body*. Hutchinson, London.
- [25] Bräuer, G. 1988. "Osteometrie." En *Anthropologie Handbuch der Vergleichenden Biologie des Menschen*, editado por R. Knussmann, Band 1/1:160–232. Stuttgart: Gustav Fischer.
- [26] Broca, P. 1872. *Sur la déformation toulousaine du crâne*. Paris: Typ. A. Hennuyer.
- [27] ——— 1875. "Sur les accidents produits par la pratique des déformations artificielles du crâne". *Bulletins de la Société d'Anthropologie de Paris* 2, no. 10:199-205.
- [28] ——— 1878. "Sur des Crânes et des Objets d'Industrie provenant des Fouilles de M. Ber à Tiahuanaco (Pérou)." *Bulletins de la Société d'Anthropologie de Paris* 1, no. 2: 230–235.
- [29] Brothwell, D.R., 1981. *Digging Up Bones*. Cornell University Press, New York.
- [30] Buikstra, J. E. 1977. "Biocultural Dimensions of Archaeological Study: a Regional Perspective." En *Biocultural Adaptation in Prehistoric America*, editado por R. L. Blakely, 67–84. Society Southern Anthropological: University of Georgia Press.
- [31] Buikstra, J. E. y D. H. Ubelaker. 1994. *Standards for data collection from human skeletal remains*. Arkansas Archeological Survey research series; (44). Arkansas Archeological Survey, Fayetteville, Ark.

- [32] Buikstra, J. E., y L. A. Beck. 2006 (Eds.). *Bioarchaeology: The Contextual Analysis of Human Remains*. 1st ed. Academic Press.
- [33] Carlson, B. 2004. *Human Embryology and Developmental Biology*, 3e. 3rd ed. Mosby.
- [34] Carlson D.S. y D.P. van Gerven. 1977. "Masticatory function and post-Pleistocene evolution in Nubia". *American Journal of Physical Anthropology* 46, 495–506.
- [35] Cassels, S. E. 1972. "A Test Concerning Artificial Cranial Deformation and Status from the Grasshopper Site, East-Central Arizona". *Kiva* 37(2): 84–92.
- [36] Chang, H. P., H. C. Lin, P. H. Liu, y C. H. Chang. 2005. "Geometric Morphometric Assessment of Treatment Effects of Maxillary Protraction Combined with Chin Cup Appliance on the Maxillofacial Complex." *Journal of Oral Rehabilitation* 32(10): 720–728.
- [37] Cheverud, J.M. y J.E. Midkiff. 1992. "Effects of fronto-occipital cranial reshaping on mandibular form". *American Journal of Physical Anthropology* 87:167-171.
- [38] Cheverud, J.M., L.A.P Kohn, L.W. Konigsberg y S.R. Leigh. 1992. "Effects of fronto-occipital artificial cranial vault modification on the cranial base and face". *American Journal of Physical Anthropology* 88:323-345
- [39] Clark, G. 1972. *Star Carr: a Case Study in Bioarchaeology*. Modular Publications 10. London: Addison-Wesley.
- [40] Cobo, B. 1983. *History of the Inca Empire: An Account of the Indians' Customs and Their Origin, Together with a Treatise on Inca Legends, History, and Social Institutions*. Traducido por R. Hamilton. Reprint. University of Texas Press.
- [41] Cocilovo, J.A. 1975. "Estudio de dos Factores que influncian la Morfología Craneana en una Población Andina: el Sexo y la Deformación Artificial." *Revista del Instituto de Antropología* (Tucumán) 2:197–212.
- [42] ——— 1978. "Estudio de dos Factores que influyen en la Morfología Craneana en una Colección Patagónica: el Sexo y la Deformación Artificial." *Separata de Archivos de Anatomía e Antropología. Instituto de Antropología Professor Souza Marqués* 3:113–141.

- [43] ——— 1994. “Biología de la Población Prehistórica de Pisagua. Continuidad y Cambio Biocultural en el Norte de Chile”. PhD, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba.
- [44] Cocilovo, J.A., F. Rothhammer, S. Quevedo y E. Llop. 1982. “Microevolución En Poblaciones Prehistóricas Del Área Andina. III. La Población prehistórica del Morro de Arica. Craneometría”. *Revista UNRC* (Río Cuarto) 2: 91–112.
- [45] Cocilovo, J.A. y Rothhammer F. 1990. “Paleopopulation biology of the southern Andes: Craniofacial chronological and geographical differentiation”. *Homo* 41:16–31.
- [46] Cocilovo J.A., H.H. Varela y S. Quevedo. 1995. “La deformación artificial del cráneo en las poblaciones prehistóricas de San Pedro de Atacama, Chile”. *Chungará* 27(2):117–124.
- [47] Collard M. y Wood B. 2000. “How reliable are human phylogenetic hypotheses?”. *Proceedings of the National Academy of Science* 97:5003–5006.
- [48] Costa M.A. 1988. “Reconstitución física y cultural de la población tardía del cementerio de Quitor-6 (San Pedro de Atacama)”. *Estudios Atacameños* 9, 99–126.
- [49] Costa M.A., A. Llagostera , F. Rothhammer y C. Silva. 1995. “Microdiferenciación craneométrica entre las poblaciones agroalfareras de San Pedro de Atacama, Chile”. *Hombre y Desierto: una perspectiva cultural* 9:27–31.
- [50] Costa M.A., Neves W.A. y Hubbe M. 2004. “Influencia de Tiwanaku en la calidad de vida biológica de la población prehistórica de San Pedro de Atacama”. *Estudios Atacameños* 27:103–116.
- [51] von Cramon-Taubadel N., B.C. Frazier, y M.M. Lahr. 2007. “The Problem of Assessing Landmark Error in Geometric Morphometrics: Theory, Methods, and Modifications.” *American Journal of Physical Anthropology* 134(1): 24–35.
- [52] Darwin, C. 1859. *On the Origin of Species by Means of Natural Selection*. John Murray.
- [53] ———. 1871. *The Descent of Man*. D. Appleton and Co.

- [54] Darroch, J. N., y James E. Mosimann. 1985. "Canonical and Principal Components of Shape." *Biometrika* 72(2): 241–252.
- [55] Dembo, A. y J. Imbelloni. 1938. *Deformaciones Intencionales del Cuerpo Humano de Carácter Étnico*. Humanior (Buenos Aires), Sección A, Tomo 3:1-348.
- [56] DeLeon, V.B. y J.T. Richtsmeier. 2009. "Fluctuating Asymmetry and Developmental Instability in Sagittal Craniosynostosis". *The Cleft Palate-craniofacial Journal: Official Publication of the American Cleft Palate-Craniofacial Association* 46(2):187–196.
- [57] Delisle, F. 1889. "Sur les Déformations Artificielles du Crâne dans les Deux-Sèvres et la Haute-Garonne." *Bulletins de La Société d'Anthropologie de Paris* 12(1):649–669.
- [58] ——— 1902. "Les déformations artificielles du crâne en France: carte de leur distribution". *Bulletins de la Société d'Anthropologie de Paris* 3(3):111-167.
- [59] Devor, E.J., M. McGue, M. H. Crawford, y P. M. Lin. 1986. "Transmissible and Nontransmissible Components of Anthropometric Variation in the Alexanderwohl Mennonites: II. Resolution by Path Analysis." *American Journal of Physical Anthropology* 69(1): 83–92.
- [60] Díaz, A. y G. Manríquez. 2006. "Morfometría Geométrica: Una Nueva Herramienta en Ortodoncia." *Revista Chilena de Ortodoncia* 23(1): 6–12.
- [61] Dingwall EJ. 1931. *Artificial Cranial Deformation: A Contribution to the Study of Ethnic Mutilations*. London: John Bale, Sons and Danielsson, Ltd.
- [62] Drake, A. G., y C.P. Klingenberg. 2010. "Large-scale Diversification of Skull Shape in Domestic Dogs: Disparity and Modularity." *The American Naturalist* 175(3): 289–301.
- [63] Dryden IL y Mardia KV. 1998. *Statistical shape analysis*. Wiley, Chichester.
- [64] Dufour, D. L. 2006. "Biocultural Approaches in Human Biology." *American Journal of Human Biology: The Official Journal of the Human Biology Council* 18(1): 1–9.
- [65] El-Najjar, M. Y., y G. L. Dawson. 1977. "The Effect of Artificial Cranial Deformation on the Incidence of Wormian Bones in the Lambdoidal Suture." *American Journal of Physical Anthropology* 46(1): 155–160.

- [66] Ericksen, G. 1983. "The Chilean nitrate deposits". *American Scientist* 71:366-374.
- [67] Escoufier, Y. 1973. "Le Traitement des Variables Vectorielles." *Biometrics* 29 (4): 751-760.
- [68] Falkenburger, F. 1938. *Recherches anthropologiques sur la déformation artificielle de crâne*. Société des américanistes.
- [69] Flower, W. H. 1882. *Fashion in deformity: as illustrated in the customs of barbarous and civilized races*. New York: J. Fitzgerald.
- [70] Foville, A. L. 1829. "Art. Aliénation mentale." En *Dictionnaire de médecine et de chirurgie pratiques*, editado por G. Andral, L. J. Bégin, y Ph. Fr. Blandin. Paris: Gabon, Mequignon-Marvis, J.B. Baillière.
- [71] ——— 1834. *Influence des vêtements sur nos organes: déformation du crâne résultant de la méthode la plus générale de couvrir la tête des enfans*. Paris: Prevost-Crocius.
- [72] Frieß M. y M. Baylac. 2003. "Exploring artificial cranial deformation using Elliptic Fourier analysis of Procrustes aligned outlines". *American Journal of Physical Anthropology* 122(1):11-22.
- [73] Garret, J. 1988. "Status, the Warrior Class and Artificial Cranial Deformation." En *The King Site: Continuity and Contact in Seventeenth Century Georgia*, editado por R. L. Blakely, 35-46. Athens, GA: The University of Georgia Press.
- [74] Gilbert, S. F. 2003. *Developmental Biology*. Sinauer Associates Inc.
- [75] Gerszten, P. y E. Gerszten. 1995. "Intentional cranial deformation: a disappearing form of self-mutilation". *Neurosurgery* 37:374-382.
- [76] González P., V. Bernal, S. Perez, M. del Papa, F. Gordon y G. Ghidini. 2004. "El error de observación y su influencia en los análisis morfológicos de restos óseos humanos: datos de variación discreta". *Revista Argentina de Antropología Biológica* 6(1):35-46.
- [77] González-José R., González-Martín A., Hernández M., Pucciarelli H.M., Sardi M., Rosales A. y Van der Molen S. 2003. "Cranimetric evidence for Paleoamerican survival in Baja California". *Nature* 425:62-65.

- [78] Goodall C.R. 1991. "Procrustes methods in the statistical analysis of shape". *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Statistical Methodology)* 53:285–339.
- [79] Gosse, L.A. 1855. *Essai sur les déformations artificielles du crâne*. Baillière.
- [80] Grosjean, M. 1994. "Paleohydrology of Laguna Lejía (north Chilean Altiplano) and climatic implications for Late-glacial times". *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 109:89-100.
- [81] Grosjean, M., B. Messerli, C. Ammann, M.A. Geyh, K. Graf, B. Jenny, K. Kammer, L. Núñez, H. Schreier, U. Schotterer, A. Schwald, B. Valero-Garcés y Vuille M. 1995. "Holocene environmental changes in the Atacama Altiplano and paleoclimatic implications". *Bulletin de l'Institut Français des Etudes Andines* 24:585-594.
- [82] Goswami, A. 2006. "Morphological Integration in the Carnivoran Skull." *Evolution; International Journal of Organic Evolution* 60(1): 169–183.
- [83] Goswami, A. y P. D. Polly. "The Influence of Modularity on Cranial Morphological Disparity in Carnivora and Primates (Mammalia)." Editado por A. W. Shingleton. *PLoS ONE* 5, no. 3 (March 3, 2010): e9517.
- [84] von Hagen, V. (Ed.)1960. *The Incas of Pedro de Cieza de León*. Second Printing. University of Oklahoma.
- [85] Hallgrímsson, B., H. Jamniczky, N. Young, C. Rolian, T. Parsons, J. Boughner y R. Marcucio. 2009. "Deciphering the Palimpsest: Studying the Relationship Between Morphological Integration and Phenotypic Covariation." *Evolutionary Biology* 36(4): 355–376.
- [86] Hammer, Ø., D.A.T Harper, y P.D. Ryan. 2001. "PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis." *Palaeontologia Electronica* 4(1):9.
- [87] Harvati, K. 2003. "Quantitative Analysis of Neanderthal Temporal Bone Morphology Using Three-dimensional Geometric Morphometrics." *American Journal of Physical Anthropology* 120(4): 323–338.
- [88] Hennessy, R. J. y C. B. Stringer. 2002. "Geometric Morphometric Study of the Regional Variation of Modern Human Craniofacial Form." *American Journal of Physical Anthropology* 117(1): 37–48.

- [89] Heuzé, Y., N. Martínez-Abadías, J.M. Stella, C.W. Senders, S.A. Boyadjiev, L.J. Lo, y J. T. Richtsmeier. 2012. "Unilateral and Bilateral Expression of a Quantitative Trait: Asymmetry and Symmetry in Coronal Craniosynostosis." *Journal of Experimental Zoology. Part B, Molecular and Developmental Evolution* 318(2):109–122.
- [90] Hillson, S. 1996. *Dental Anthropology*. Cambridge University Press: Cambridge.
- [91] Hlusko LJ. 2004. "Integrating the genotype and phenotype in hominid paleontology". *Proceedings of the National Academy of Science* 101:2653–2657.
- [92] Hoshower, L. M., J. E. Buikstra, P. S. Goldstein y A. D. Webster. 1995. "Artificial Cranial Deformation at the Omo M10 Site: A Tiwanaku Complex from the Moquegua Valley, Peru." *Latin American Antiquity* 6(2): 145-164.
- [93] Hotelling, H. 1933. "Analysis of a Complex of Statistical Variables into Principal Components". *Journal of Educational Psychology* 24(6): 417–441.
- [94] Howells W.W. 1973. "Cranial Variation in Man: a study by multivariate analysis of patterns of difference among recent human populations". *Papers of the Peabody Museum of Archaeology and Ethnology* 67. Cambridge: Harvard University.
- [95] Howells W.W. 1989. "Skull Shapes and the Map". *Papers of the Peabody Museum of Archaeology and Ethnology* 79. Cambridge: Harvard University.
- [96] Hrdlička, A. 1912. "Artificial Deformations of the Human Skull with Special Reference to America." *Actas del XVII Congreso Internacional de Americanistas*, 147–149. Buenos Aires.
- [97] Huxley, J. 1932. *Problems of relative growth*. New York, L. MacVeagh, The Dial Press.
- [98] Imbelloni, José. 1925. "Deformaciones Intencionales del Cráneo en Sud-américa: Polígonos Craneanos Aberrantes." *Revista Del Museo De La Plata* 28: 329–407.
- [99] ——— 1932. "Sobre un Ejemplar Mimético." *Antropología, Etnología y Arqueología* 74:193–210.
- [100] ——— 1933. "Los Pueblos Deformadores de los Andes." *Antropología, Etnología y Arqueología* 75: 209–257.

- [101] ——— 1934. “Über Formen, Wesen und Methodik der Absichtlichen Deformationen.” *Zeitschrift für Morphologie und Anthropologie* 33: 164–189.
- [102] ——— 1937. “Deformaciones Intencionales del Cráneo en Sud América.” *Helmin-tología* 6: 330–406.
- [103] Jahnke, R. y H.T. Jahnke. 2003. “The politics of Māori image and design”. *Pukenga Korero* 7(1):5–31.
- [104] Janusek, J. W. 2004. “Tiwanaku and its precursors: Recent Research and emerging perspectives”. *Journal of Archaeological Research* 12:121-183.
- [105] ——— 2008. *Ancient Tiwanaku*. Cambridge University Press.
- [106] Jiménez, P., A. Martínez-Insua, J.Franco-Vazquez, X.L. Otero-Cepeda, y U. Santa-na. 2012. “Maxillary Changes and Occlusal Traits in Crania with Artificial Fronto-occipital Deformation”. *American Journal of Physical Anthropology* 147(1): 40–51.
- [107] Jolliffe, I. T. 1993. “Principal Component Analysis: A Beginner’s Guide — II. Pitfalls, Myths and Extensions”. *Weather* 48(8): 246–253.
- [108] ——— 2002. *Principal Component Analysis*. 2nd ed. Springer.
- [109] Kendall, D. G. 1977. “The Diffusion of Shape.” *Advances in Applied Probability* 9(3): 428.
- [110] ——— 1984. “Shape manifolds, procrustean metrics and complex projective spaces”. *Bulletin of London Mathematical Society* 16:81-121.
- [111] Kendall, D. G. y W. S. Kendall. 1980. “Alignments in Two-Dimensional Random Sets of Points”. *Advances in Applied Probability* 12(2): 380.
- [112] Knudson, K. 2007. “La influencia de Tiwanaku en San Pedro de Atacama: Una investigación por los isótopos del estroncio”. *Estudios Atacameños* 33:7-24.
- [113] Klingenberg, C. P. 2008. “Morphological Integration and Developmental Modularity.” *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 39(1): 115–132.
- [114] ——— 2009. “Morphometric Integration and Modularity in Configurations of Landmarks: Tools for Evaluating a Priori Hypotheses.” *Evolution & Development* 11(4): 405–421.

- [115] ——— 2010. "Evolution and Development of Shape: Integrating Quantitative Approaches." *Nature Reviews. Genetics* 11(9): 623–635.
- [116] ——— 2011. "MorphoJ: an integrated software package for geometric morphometrics". *Molecular Ecology Resources* 11:353–357.
- [117] Klingenberg, C. P., y G. S. McIntyre. 1998. "Geometric morphometrics of developmental instability: analyzing patterns of fluctuating asymmetry with Procrustes methods". *Evolution* 52:1363–1375.
- [118] Klingenberg, C. P., M. Barluenga, y A. Meyer. 2002. "Shape analysis of symmetric structures: quantifying variation among individuals and asymmetry". *Evolution* 56:1909–1920.
- [119] Klingenberg C.P. y Monteiro L.R. 2005. "Distances and directions in multidimensional shape spaces: implications for morphometric applications". *Systematic Biology* 54:678–688.
- [120] Kohn, L.A.P., S. R. Leigh, S. C. Jacobs, y J. M. Cheverud. 1993. "Effects of Annular Cranial Vault Modification on the Cranial Base and Face". *American Journal of Physical Anthropology* 90(2): 147–168.
- [121] Kolata A.L. 1993. *The Tiwanaku: Portrait of an Andean Civilization*. Blackwell, Cambridge.
- [122] Konigsberg, L., L.Kohn, y J. Cheverud. 1993. "Cranial Deformation and Nonmetric Trait Variation". *American Journal of Physical Anthropology* 90 (1):35–48.
- [123] Kouchi, M., M. Mochimaru, K. Tsuzuki, y T. Yokoi. 1999. "Interobserver Errors in Anthropometry." *Journal of Human Ergology* 28(1–2): 15–24.
- [124] Krapivka, S. 2012. "Estimación de la Heredabilidad de la Forma del Cráneo en un Sistema de Hermanos Completos de Filotinos (Rodentia: Muroidea)", Master, Universidad de Chile.
- [125] Krenzer, U. 2006. *Compendio de métodos antropológico forenses para la reconstrucción del perfil osteo-biológico*. CAFCA, Centro de Análisis Forense y Ciencias Aplicadas, Guatemala.

- [126] Kroeber, A. L. 1926. *Archaeological explorations in Peru. Part I. Ancient pottery from Trujillo*. Chicago: Field Museum Press.
- [127] de La Condamine, Charles Marie. 1745. *Relation Abrégée d'un Voyage Fait dans l'Intérieur de l'Amérique Méridionale depuis la Côte de la Mer du Sud jusqu'aux Côtes du Brésil et de la Guyane, en Descendant la Rivière des Amazones*. Mémoires De l'Académie Des Sciences De Paris .
- [128] Lahr M.M. 1996. *The Evolution of Modern Human Diversity*. Cambridge University Press, Cambridge.
- [129] Larsen CL. 1997. *Bioarchaeology: interpreting behavior from the human skeleton*. Cambridge University Press, Cambridge.
- [130] Latcham, Ricardo E. *Deformación del cráneo en la región de los atacameños y diaguitas*. Buenos Aires, 1937.
- [131] Le Paige, G. 1964. "El precerámico en la cordillera atacameña y los cementerios del período Agroalfarero de San Pedro de Atacama. *Anales de la Universidad del Norte* 3.
- [132] Lekovic, G. P., B. Baker, J. M. Lekovic, y M. C. Preul. 2007. "New World Cranial Deformation Practices: Historical Implications for Pathophysiology of Cognitive Impairment in Deformational Plagiocephaly." *Neurosurgery* 60(6): 1137–1146; discusión 1146–1147.
- [133] Lele, S. R., y J. T. Richtsmeier. 2001. *An Invariant Approach to Statistical Analysis of Shapes*. 1st ed. Chapman and Hall/CRC.
- [134] Lenhossék, József. 1878. *Die künstlichen Schädelverbildungen im Allgemeinen und zwei künstlich Verbildete makrocephale Schädel aus Ungarn: sowie ein Schädel aus der Barbarenzeit Ungarns*. Königl. Ungar. Universitäts-Buchdruckerei.
- [135] Lestrel, P. E. (Ed). 1997. *Fourier Descriptors and Their Applications in Biology*. First ed. Cambridge University Press.
- [136] Lieberman, D. E. 2011. *The Evolution of the Human Head*. 1st ed. Belknap Press of Harvard University Press-

- [137] Lieberman D.E., Pearson O.M. y Mowbray K.M. 2000. "Basiscranial influence on overall cranial shape". *Journal of Human Evolution* 38:291-315
- [138] Llagostera A. 1996. "San Pedro de Atacama: nodo de complementaridad reticular". *Estudios y Debates Regionales Andinos* 96:17-42.
- [139] ——— 2004. *Los Antiguos Habitantes del Salar de Atacama*. Pehuén Editores, Santiago.
- [140] López, E. 1956. *La deformación intencional cefálica en los antiguos habitantes del Departamento de Oruro*. Oruro: Univ. Técnica de Oruro.
- [141] Lynch T.F. 1975. "Algunos problemas básicos del estadio de caza-recolección andina: trashumancia". *Estudios Atacameños* 3:7-10.
- [142] MacLeod, N. 2005. "Principal Components Analysis (eigenanalysis & Regression 5)." *Palaeontological Association Newsletter* 59: 42–54.
- [143] Manríquez, G. 2005. "Patrones de Deformación Intencional del Craneo en Poblaciones Prehispánicas de Arica: Análisis de Morfometría Geométrica con uso de Tele-radiografía Craneofacial". *Informe proyecto Fondecyt 1050279*.
- [144] Manríquez, G. 2010. "Origen de las Teorías Darwinianas de la Evolución de Homo sapiens (Catarrhini: Hominidae) y su importancia para las Ciencias Sociales." *Revista Chilena De Historia Natural* 83(4): 501–510.
- [145] Manríquez G, González-Bergas F, Salinas J.C, Espouey O. 2006. "Deformación intencional del cráneo en poblaciones arqueológicas de Arica, Chile: análisis preliminar de morfometría geométrica con uso de radiografías craneofaciales". *Chungará* 38(1):13-34.
- [146] Mantel, N. 1967. "The detection of disease clustering and a generalized regression approach". *Cancer Research* 27:209-220.
- [147] Marcus, L. F., E. Hingst-Zaher y H. Zaher. 2000. "Application of Landmark Morphometrics to Skulls Representing the Orders of Living Mammals". *Hystrix the Italian Journal of Mammalogy* 11(1):27–47.
- [148] Marcus, L. F. 1990. "Traditional Morphometrics". En *Proceedings of the Michigan Morphometrics Workshop*, editado por F. J. Rohlf y F. Bookstein, 2:77–122. Special

Publication Number. Ann Arbor, Michigan: The University of Michigan Museum of Zoology.

- [149] Marquet, P. A. 1994. "Diversity of small mammals in the Pacific Coastal Desert of Peru and Chile and in the adjacent Andean area: Biogeography and community structure". *Australian journal of Zoology* 42:527-542.
- [150] Marroquín, J. 1944. "El cráneo deformado de los antiguos aimaras". *Revista del Museo Nacional* 13:15-40.
- [151] Martin, R. y Saller, K. 1957. *Lehrbuch der Anthropologie*. Stuttgart, Gustav Fischer Verlag. Abt.1.
- [152] Martínez-Abadías, N. *Evolutionary Patterns of the Human Skull. A Quantitative Genetic Analysis of Craniofacial Phenotypic Variation*. PhD, Universitat de Barcelona, 2007.
- [153] McElroy, A. 1990. "Biocultural Models in Studies of Human Health and Adaptation." *Medical Anthropology Quarterly* 4(3): 243–265.
- [154] McKinney, M.L. y K. J. McNamara. 1991. *Heterochrony: The Evolution of Ontogeny*. 1st ed. Springer.
- [155] Meindl R.S., C.O. Lovejoy, R.P. Mensforth y L.D. Carlos. 1985. "Accuracy and direction of error in the sexing of the skeleton". *American Journal of Physical Anthropology* 68: 79-85.
- [156] Mendonça de Souza, S. M.F., Karl R.J. y A. Lessa. 2008. "Cranial Deformation as the Cause of Death for a Child from the Chillón River Valley, Peru". *Chungará (Arica)*, 40(1)41-53.
- [157] Mendonça, O. y J. A. Di Rienzo. 1982. "La Deformación Craneana Artificial en la Serie Masculina de Morro de Arica (Chile) Segunda Parte." *Relaciones de la Sociedad Argentina de Antropología* 14(2): 49–66.
- [158] Messerli B., M. Grosjean, G. Bonani, A. Burgi, M. Geyh, K. Graf, K. Ramseyer, H. Romero, U. Schotterer, H. Schreier y M. Vuille. 1993. "Climate change and natural resource dynamics of the Atacama altiplano during the last 18,000 years: A preliminary synthesis". *Mountain Research and Development* 13: 117-127.

- [159] Meskell, L. 1998. "The Irresistible Body and the Seduction of Archaeology". En *Changing bodies, changing meanings: studies on the human body in antiquity*, editado por D. Montserrat, pp. 139-161. Routledge, New York.
- [160] Mitteroecker, P. y F. Bookstein. 2008. "The Evolutionary Role of Modularity and Integration in the Hominoid Cranium". *Evolution* 62(4):943-958.
- [161] Molleson, T., y S. Campbell. 1995. "Deformed Skulls at Tell Arpachiyah: The Social Context". En *The Archaeology of Death in the Ancient Near East*, 51:45-55. Editado por S. Campbell y A. Green. Oxford: Oxbow Monographs.
- [162] Monteiro, L.R., A.F. Diniz-Filho, S.F. dos Reis, y E.D. Araújo. 2002. "Geometric Estimates of Heritability in Biological Shape". *Evolution; International Journal of Organic Evolution* 56(3): 563-572.
- [163] Mortimer, C. 1980. "Drainage evolution in the Atacama Desert". *Journal of the Geological Society* (London) 129: 505-526.
- [164] Morton, S.G. 1839. *Crania Americana -A Comparative View of Skulls of Various Aboriginal Nations of North and South America*. www.gustavslibrary.com.
- [165] Mosimann, J.E. 1970. "Size Allometry: Size and Shape Variables with Characterizations of the Lognormal and Generalized Gamma Distributions". *Journal of the American Statistical Association* 65(330): 930.
- [166] Munizaga, J. 1971. "Síntesis De La Antropología Física Del Norte Chico." En *Actas del Congreso Nacional de Arqueología Chilena*, 6:345-351. Museo Nacional de Historia Natural, Santiago, Chile.
- [167] ——— 1987. "Deformación Craneana Intencional En América." *Revista Chilena de Antropología* 6:113-147.
- [168] Murra, J. .1972. "El control vertical de un máximo de pisos ecológicos en la economía de las sociedades andinas". En *Visita de la Provincia de León de Huanuco en 1562*, editado por J. Murra. Universidad Nacional Hermilio Valdizán, Huanuco, Perú.
- [169] Neff N.A. y Marcus L.F. 1980. *A survey of multivariate methods for systematics*. American Museum of Natural History, Nueva York.

- [170] Neumann, G.K. 1942. "Types of Artificial Cranial Deformation in the Eastern United States". *American Antiquity* 3:306-310
- [171] Neves, W.A. 1988. *Paleogenética dos grupos pré-históricos do Litoral Sul do Brasil, Paraná e Santa Catarina*. São Leopoldo, Brasil: Instituto Anchietano de Pesquisas.
- [172] Neves W.A. y Costa M.A. 1998. "Adult stature and standart of living in prehistoric San Pedro de Atacama, northern Chile". *Current Anthropology* 39:278-281.
- [173] Neves W.A. y Hubbe M. 2005. "Cranial morphology of early Americans from Lagoa Santa - Implications for the settlement of the New World". *Proceedings of the National Academy of Science* 51:18309-18314.
- [174] Niemeyer H., y Cereceda P. 1984. *Hidrografía. Tomo VIII*. Colección Geográfica de Chile. Instituto Geográfico Militar, Santiago.
- [175] Núñez L. 1976. "Registro regional de fechas radiocarbónicas en el norte de Chile". *Estudios Atacameños* 4:74-123.
- [176] ——— 1992. *Cultura y conflicto en los oasis de San Pedro de Atacama*. Editorial Universitaria, Santiago.
- [177] ——— 2005. "La naturaleza de la expansión aldeana durante el formativo tardío en la cuenca de Atacama". *Chungará* 37:165-193.
- [178] Núñez L. y Dillehay T. 1979. *Movilidad giratória, armonia social y desarrollo en los Andes Meridionales: patrones de tráfico e interacción económica*. Universidad Católica del Norte, Antofagasta.
- [179] Núñez L. y Santoro C. 1988. "Cazadores de la puna seca y salada del área centro-sur andina (norte de Chile)". *Estudios Atacameños* 9:11-60.
- [180] Núñez L., Grosjean M. y Cartagena I. 2002. "Human occupation and climate change in the Puna de Atacama, Chile". *Science* 298:821-824.
- [181] Núñez L. y Grosjean M. 2003. "Biodiversity and human impact during the last 11,000 years in north-central Chile". *Ecological Studies* 162:7-17.
- [182] O'Higgins, P. 2000. "The Study of Morphological Variation in the Hominid Fossil Record: Biology, Landmarks and Geometry". *Journal of Anatomy* 197(1):103-120.

- [183] O'Higgins, P. y N. Jones. 1998. "Facial Growth in *Cercocebus Torquatus*: An Application of Three-dimensional Geometric Morphometric Techniques to the Study of Morphological Variation." *Journal of Anatomy* 193(2): 251–272.
- [184] O'Loughlin, V.D. 1996. "Comparative Endocranial Vascular Changes Due to Craniosynostosis and Artificial Cranial Deformation". *American Journal of Physical Anthropology* 101(3): 369–385.
- [185] O'Loughlin, V.D. 2004. "Effects of Different Kinds of Cranial Deformation on the Incidence of Wormian Bones". *American Journal of Physical Anthropology* 123(2):146–155.
- [186] Ortloff C.R. y Kolata A.L. 1993. "Climate and collapse—agro-ecological perspectives on the decline of the Tiwanaku state". *Journal of Archaeological Sciences* 20:195–221.
- [187] Ortner, D.J. 2003. *Identification of Pathological Conditions in Human Skeletal Remains*. 2nd. ed. Academic Press.
- [188] Oxnard, C., y P. O'Higgins. 2009. "Biology Clearly Needs Morphometrics. Does Morphometrics Need Biology?". *Biological Theory* 4(1): 84–97.
- [189] Özbek, M. 2001. "Cranial deformation in a subadult sample from Degirmentepe Chalcolithic, Turkey". *American Journal of Physical Anthropology* 115:238–244.
- [190] del Papa, M.C., y I.S. Pérez. 2007. "The Influence of Artificial Cranial Vault Deformation on the Expression of Cranial Nonmetric Traits: Its Importance in the Study of Evolutionary Relationships". *American Journal of Physical Anthropology* 134(2): 251–262.
- [191] Penin, Xavier, Christine Berge, and Michel Baylac. "Ontogenetic Study of the Skull in Modern Humans and the Common Chimpanzees: Neotenic Hypothesis Reconsidered with a Tridimensional Procrustes Analysis." *American Journal of Physical Anthropology* 118, no. 1 (2002): 50–62.
- [192] Pérez S.I. 2007. Artificial cranial deformation in South America: a geometric morphometrics approximation. *Journal of Archaeological Science*, 34 (10), pp. 1649–1658.

- [193] Pérez, Sergio I., Paula N. González, Valeria Bernal, Mariano Del Papa, Amelia Barreiro, Carla Negro, and Lucas Martínez. "El error de observación y su influencia en los Análisis morfológicos de restos óseos humanos. Datos de variación continua." *Revista Argentina de Antropología Biológica* 6, no. 1 (2004): 61–75.
- [194] Pigliucci, M. (Ed). 2001. *Phenotypic Plasticity: Beyond Nature and Nurture (Syntheses in Ecology and Evolution)*. The Johns Hopkins University Press; First Edition.
- [195] Pigliucci, M. y K. Preston. (Eds). 2004. *Phenotypic Integration Studying the Ecology and Evolution of Complex Phenotypes*. Oxford University Press.
- [196] Powell, T.V. y A.G. Brodie. 1963. "Closure of the spheno- occipital synchondrosis". *Anatomical Record* 147:15-23.
- [197] Pucciarelli, H.M. 1974. "The Influence of Experimental Deformation on Neurocranial Wormian Bones in Rats". *American Journal of Physical Anthropology* 41(1): 29–37.
- [198] de Quatrefages, J.L.A. y E.T. Hamy. 1875. "Les Crania Ethnica". *Bulletins de la Société d'Anthropologie de Paris* 10(1): 612–619.
- [199] Raffino, R. 1988. *Poblaciones Indígenas de la Argentina*. Tipográfica Editorial, Buenos Aires.
- [200] Rauh, W. 1985. "The Peruvian-Chilean deserts". En *Hot Deserts and Arid Shrublands* editado por M. Evenary M, I. Noy-Meir y D.W. Goodall, 239-266. Elsevier Science.
- [201] Régnault, F. 1900. "Oblitération Prématuration des Sutures Crâniennes, Mécanisme des Déformations". *Bulletins de la Société d'Anthropologie de Paris* 1(1): 55–66.
- [202] ——— 1914. "Terre Cuite Précolombienne Représentant la Manière dont était Obtenue la Déformation du Crâne". *Bulletins Et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris* 5(3): 180–181.
- [203] Retamal, R. "Efectos de la Deformación Craneana Intencional sobre la Expresión del Dimorfismo Sexual en Cráneos Adultos". BA, Universidad de Chile, 2004.
- [204] Reyment, R. A. y K.G. Jöreskog. 1996. *Applied Factor Analysis in the Natural Sciences*. 2nd ed. Cambridge University Press.

- [205] Rhode, M.P. 2002. "Cranial Deformation and Measurement Stability Among Prehistoric South Central Andean Populations". *American Journal of Physical Anthropology* Suppl(3):130.
- [206] Richtsmeier J.T., H.M. Grausz, G.R. Morris, J.L. Marsh y M.W. Vannier. 1991. "Growth of the cranial base in craniosynostosis". *Cleft Palate-Craniofacial Journal* 28(1):55-67.
- [207] Rodman A.O. 1992. "Textiles and ethnicity: Tiwanaku in San Pedro de Atacama, north Chile". *Latin American Antiquity* 3:316-340.
- [208] Rohlf, F. J. 1990. "Morphometrics." *Annual Review of Ecology and Systematics* 21(1): 299-316.
- [209] Rohlf, F. J. 2010. tpsDig2, v. 2.16. NY: State University at Stony Brook (*software*).
- [210] Rohlf, F. J. y M. Corti. 2000. "Use of Two-Block Partial Least-Squares to Study Covariation in Shape". *Systematic Biology* 49(4): 740-753.
- [211] Rohlf, F. J. y D. Slice. 1990. "Extensions of the Procrustes Method for the Optimal Superimposition of Landmarks". *Systematic Zoology* 39(1): 40.
- [212] Rothhammer F., S. Quevedo, J.A. Cocilovo y E. Llop. 1981. "Microevolución En Poblaciones Prehistóricas Del Área Andina. II. Variación Craneométrica Cronológica En Los Valles De Arica". *Chungará* 8: 275-289.
- [213] Rothhammer, F. y C. Silva. 1990. "Cranio-metrical Variation Among South American Prehistoric Populations: Climatic, Altitudinal, Chronological, and Geographic Contributions". *American Journal of Physical Anthropology* 82(1): 9-17.
- [214] Rothhammer, F., S. Quevedo, J.A. Cocilovo y E. Llop. 1984. "Microevolution in Prehistoric Andean Populations: Chronologic Nonmetrical Cranial Variation in Northern Chile". *American Journal of Physical Anthropology* 65(2): 157-162.
- [215] Rothhammer, F. y C.M. Santoro. 2001. "El Desarrollo Cultural en el Valle de Azapa, Extremo Norte de Chile y su Vinculación con los Desplazamientos Poblacionales Altiplánicos." *Latin American Antiquity* 12 (2001): 59-66.

- [216] Rothhammer, F., C.M. Santoro y M. Moraga. 2002. "Craniofacial Chronological Microdifferentiation of Human Prehistoric Populations of the Azapa Valley, Northern Chile". *Revista Chilena de Historia Natural* 75(1): 259–264.
- [217] Sáenz de Aguirre, J., G. Catalani, y A. Fulgoni .1755. *Collectio maxima conciliorum omnium Hispaniae, et novi orbis: epistolarumque decretalium celebriorum, necnon plurium monumentorum veterum ad illam spectantium*. Cum notis, & dissertationibus, quibus sacri canones, historia, ac disciplina ecclesiastica, & chronologia, accurate illustrantur. Romae: Ex typographia Antonii Fulgonii.
- [218] Salinas J. C. 2010. *Efecto de la Deformación Intencional del Cráneo sobre la Arquitectura Ósea Cráneo-Facial en Poblaciones Prehispánicas del Norte Árido de Chile. Análisis de Morfometría Geométrica en telerradiografías Lateral*. Master, Universidad de Chile.
- [219] Savazzi, E. y R. A. Reyment. 1999. Aspects of Multivariate Statistical Analysis in Geology. Elsevier.
- [220] Schlichting, C.D. y M. Pigliucci. 1998. *Phenotypic Evolution: A Reaction Norm Perspective*. 1st ed. Sinauer Associates.
- [221] Shennan, S. 2008. "Evolution in Archaeology". *Annual Review of Anthropology* 37(1): 75–91.
- [222] Siegel, A. F. y Richard H. Benson. 1982. "A Robust Comparison of Biological Shapes". *Biometrics* 38(2): 341.
- [223] Singh, G. D., J. A. McNamara y S. Lozanoff. 2000. "Comparison of Mandibular Morphology in Korean and European-American Children with Class III Malocclusions Using Finite-Element Morphometry". *Journal of Orthodontics* 27(2): 135–142.
- [224] Singh, G.D., D. Levy-Bercowski y P.E. Santiago. 2005. "Three-Dimensional Nasal Changes Following Nasoalveolar Molding in Patients With Unilateral Cleft Lip and Palate: Geometric Morphometrics". *The Cleft Palate-Craniofacial Journal* 42(4): 403–409.
- [225] Slice, D. E. 1996. "Three-dimensional, Generalized Resistant Fitting and the Comparison of Least-squares and Resistant-fit Residuals". En *Advances in Morphometrics*,

editado por L. F. Marcus, M. Corti, A. Loy, G. J. P. Naylor y D.E. Slice, 179–199. Springer.

- [226] ——— (Ed.) 2005. *Modern Morphometrics in Physical Anthropology*. Kluwer Academic Publishers.
- [227] ——— 2007. “Geometric Morphometrics”. *Annual Review of Anthropology* 36(1): 261–281.
- [228] Slice, D.E., F.L. Bookstein, L.F. Marcus y F.J. Rohlf. 1996. “Appendix I: A Glossary for Geometric Morphometrics”. En *Advances in Morphometrics*, editado por L. F. Marcus, M. Corti, A. Loy, G. J. P. Naylor y D.E. Slice, 531–549. Springer.
- [229] Sokal R. y F. Rohlf. 1995. *Biometry*. 3rd ed. W. H. Freeman Company.
- [230] Soto-Heim, P. 1987. “Evolución de Deformaciones Intencionales, Tocados y Prácticas Funerarias en la Prehistoria de Arica, Chile.” *Chungará* 19: 129–213.
- [231] Soto-Heim, P. 2004. “Une Marque D’identité Imprimée Sur L’os: La Déformation Crânienne Intentionnelle”. *Biométrie Humaine et Anthropologie* 22:81–98. Société de biométrie humaine.
- [232] Soto-Heim, P., y S. Quevedo. 2005. “Asymetrie de la base du crâne et déformation crânienne”. *Biométrie Humaine et Anthropologie* 23(3-4): 203–211.
- [233] Sparks, C.S., y R.L. Jantz. 2002. “A Reassessment of Human Cranial Plasticity: Boas Revisited”. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 99(23): 14636–14639.
- [234] Stewart, T. D. 1943. “Skeletal Remains from Paracas, Peru”. *American Journal of Physical Anthropology* 1(1): 47–63.
- [235] Sutter, R.C., y L. Mertz. 2004. “Nonmetric Cranial Trait Variation and Prehistoric Biocultural Change in the Azapa Valley, Chile”. *American Journal of Physical Anthropology* 123(2): 130–145.
- [236] Tarragó M. 1976. “Alfarería típica de San Pedro de Atacama (Norte de Chile)”. *Estudios Atacameños* 4:37–64.
- [237] Tello, J. 1928. “La Medicina y La Antropología En La Educación Médica.” *Revista Universitaria*, San Martín (Lima) 1: 121.

- [238] Thévenot, M., y T. Moette. 1696. *Relations de divers voyages curieux: qui n'ont point esté publiées, est qu'on a traduit or tiré des originaux des voyageurs françois, espagnols, allemands, portugais, anglois, hollandois, persans, arabes & autres orientaux*. A Paris: Chez Thomas Moette Libraire, ruë de la vieille Bouclerie, à saint Alexis.
- [239] Thompson, D.W. 1917. *On Growth and Form*. Cambridge [Eng.] University press.
- [240] Tiesler Blos, V. 1998. *La Costumbre De La Deformación Cafálica Entre Los Antiguos Mayas: Aspectos Morfológicos y Culturales*. INAH, México D.F.
- [241] Tiesler Blos, V y R. Benítez Frausto. 2001. "Head Shaping and Dental Decoration: Two Biocultural Attributes of Cultural Integration and Social Distinction Among the Ancient Maya". *American Journal of Physical Anthropology* 32 (Supp.): 149.
- [242] Tommaseo, M. y A. Drusini. 1984. "Physical Anthropology of Two Tribal Groups of Amazonic Peru (with Reference to Artificial Cranial Deformation)". *Zeitschrift für Morphologie und Anthropologie* 74(3): 315–333.
- [243] Topinard, P. 1876. "Sur La Plagiocéphalie". *Bulletins de la Société d'Anthropologie de Paris* 11(1): 442–456.
- [244] ——— 1879. "Des Déformations Ethniques du Crâne". *Revue d'Anthropologie* 2: 496–506.
- [245] Toro-Ibacache, M. V. 2010. "Efecto de la Deformación Artificial del Cráneo en el Eje de Simetría Bilateral: Un Análisis Cualitativo y Cuantitativo Mediante Estimación de Asimetría Fluctuante". Master, Universidad de Chile.
- [246] Toro-Ibacache, M.V., G. Manriquez, y I. Suazo. "Morfometría Geométrica y el Estudio de las Formas Biológicas: De la Morfología Descriptiva a la Morfología Cuantitativa". *Int. J. Morphology* 28(4):977-990.
- [247] Torres C.M. 1984. "Iconografía de las tabletas para inhalar sustancias psicoactivas de la zona de San Pedro de Atacama, Norte de Chile". *Estudios Atacameños* 7:178-196.
- [248] Torres-Rouff, C. 2002. "Cranial vault modification and ethnicity in Middle Horizon San Pedro de Atacama, Chile". *Current Anthropology* 43(1): 163-171.

- [249] ———. 2003. *Shaping Identity: Cranial Vault Modification in the Pre-Columbian Andes*. PhD, University of California at Santa Barbara.
- [250] ———. 2008. "The Influence of Tiwanaku on Life in the Chilean Atacama: Mortuary and Bodily Perspectives". *American Anthropologist* 110(3):325-337.
- [251] Torres-Rouff C. y M.A. Costa .2005. "Interpersonal violence in prehistoric San Pedro de Atacama, Chile: Behavioral implications of environmental stress". *American Journal of Physical Anthropology* 130:60-70.
- [252] Trinkaus E. 1982. "Artificial cranial deformation in the Shanidar 1 and 5 Neanderthals". *Current Anthropology* 23:198-199.
- [253] Troll, C. 1968. "Geo-ecology of the mountain regions of the tropical Americas". *Colloquium Geographicum*. Vol 9. Geographisches Institut der Universität Bonn.
- [254] von Tschudi, J.J. 1846. *Peru: Reiseskizzen aus den Jahren 1838-1842*. St. Gallen, Scheitlin und Zollokofer.
- [255] Uribe M. 2002. "Sobre alfarería, cementerios, fases y procesos durante la prehistoria tardía del desierto de Atacama (800-1600 DC)". *Estudios Atacameños* 22:7-31.
- [256] Varela H.H. 1997. *La Población Prehistórica de San Pedro de Atacama: Composición, Estructura y Relaciones Biológicas*. PhD, Facultad de Ciencias Exactas, Físico-Químicas y Naturales, Universidad Nacional de Río Cuarto.
- [257] Varela H.H. y Cocilovo J.A. 2000. "Structure of the prehistoric population of San Pedro de Atacama". *Current Anthropology* 41:125-132.
- [258] Varela, H.H., J.A. Cocilovo, y S.G. 1993. Valdano. "Evaluación de La Influencia del Efecto Sexo, Edad y Deformación Artificial en la Estimación de Distancias Biológicas por Medio de la D2 de Mahalanobis". *Boletín de la Sociedad Española de Antropología Biológica* 14:35–148.
- [259] de la Vega, G. 1918. *Los Comentarios Reales de los Incas*. University of Michigan Library.
- [260] Viðarsdóttir, U. S., P. O'Higgins, y C. Stringer. 2002. "A Geometric Morphometric Study of Regional Differences in the Ontogeny of the Modern Human Facial Skeleton". *Journal of Anatomy* 201(3): 211–229.

- [261] Virchow, R. 1892. *Crania Ethnica Americana: Sammlung Auserlesener Amerikanischer Schädeltypen*. A. Asher & Company.
- [262] Vyslozil O. y R. Slavicek. 2001. "Vergleichsuntersuchung an Künstlich Deformierten und Undeformierten Schädeln". *Annalen Des Naturhistorischen Museums Wien* 102A: 245–274.
- [263] Walrath, D. E., Turner, P. y Bruzek, J. 2004. "Reliability test of the visual assessment of cranial traits for sex determination. American Journal of Physical Anthropology". 125(2):132–137.
- [264] Weischet, W. 1975. "Las condicones climáticas del desierto de Atacama como desierto extremo de la Tierra". *Norte Grande* 1: 363-373.
- [265] Weiss, P. 1961. *Osteología cultural: prácticas cefálicas. 2da parte*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima.
- [266] ——— 1962. "Tipología de las Deformaciones Cefálicas de los Antiguos Peruanos, según la Osteología Cultural". *Revista Del Museo Nacional* (Lima) 31: 15–42.
- [267] White, C. D. 1996. "Sutural Effects of Fronto-occipital Cranial Modification". *American Journal of Physical Anthropology* 100(3): 397–410.
- [268] White T.D., B. Asfaw, D. DeGusta, H. Gilbert, G.D. Richards, G. Suwa y F.C. Howell. 2003. "Pleistocene Homo sapiens from Middle Awash, Ethiopia". *Nature* 423:742–747.
- [269] Williams, F.L., R.L. Belcher y G.J. Armelagos. 2005. "Forensic misclassification of ancient Nubian crania: Implications for assumptions about human variation". *Current Anthropology* 46:340–46.
- [270] Zelditch ML, Swiderski, HD Sheets y WL Fink. 2004. *Geometric Morphometrics for Biologists: A primer*. Elsevier Academic Press.