



# Normalización y Modulación de Espacios Cerebrales Nativos para Preparación de Morfometrías Basadas en Vóxeles

Rodrigo Jaldo<sup>1</sup> & Julián Marino<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Laboratorio de Neuroimágenes, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina

<sup>2</sup> Grupo de Neurociencia, Universidad de Granada, España

Julio de 2015

La normalización espacial transforma los espacios cerebrales nativos para hacerlos coincidir con una plantilla canónica en el mismo espacio estereotáxico, lo cual se logra mediante un proceso de emparejamiento- deformaciones (Penny, Friston, Ashburner, Kiebel, & Nichols, 2011c). Existen dos clases de deformaciones: rígidas (también llamada afinas) y no lineales. Afín significa que las líneas paralelas permanecen paralelas aún después de la transformación (Penny, Friston, Ashburner, Kiebel, & Nichols, 2011b). Lo anterior puede observarse en la Figura 2, en donde hay líneas que tienen iguales pendientes porque aún luego de las deformaciones a todas las líneas que mostraban el mismo valor en sus pendientes se les asignó una nueva pendiente con idéntica inclinación entre ellas. Las deformaciones rígidas asumen que no existe influencia de la relación cerebro/masa corporal en las diferencias observadas en el volumen de los cerebros, por lo que solo realiza modificaciones intra-sujetos para ajustar la imagen nativa con respecto a la canónica. Para ello utiliza 4 tipos de transformaciones: traslaciones, rotaciones, zoom y cizallas (Penny et al., 2011b).

$$\begin{array}{l}
 \text{a) } \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & q_1 \\ 0 & 1 & 0 & q_2 \\ 0 & 0 & 1 & q_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ 1 \end{bmatrix} \\
 \text{b) } \begin{matrix} y_1 = \cos(\theta)x_1 + \sin(\theta)x_2 \\ y_2 = -\sin(\theta)x_1 + \cos(\theta)x_2 \end{matrix} \\
 \text{c) } \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & q_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & q_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ 1 \end{bmatrix} \\
 \text{d) } \begin{bmatrix} 1 & q_1 & q_2 & 0 \\ 0 & 1 & q_3 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}
 \end{array}$$

Figura 1: Fórmulas de a) traslaciones, b) rotaciones, c) zoom y d) cizallas. Extraído de Penny et al. (2011b).

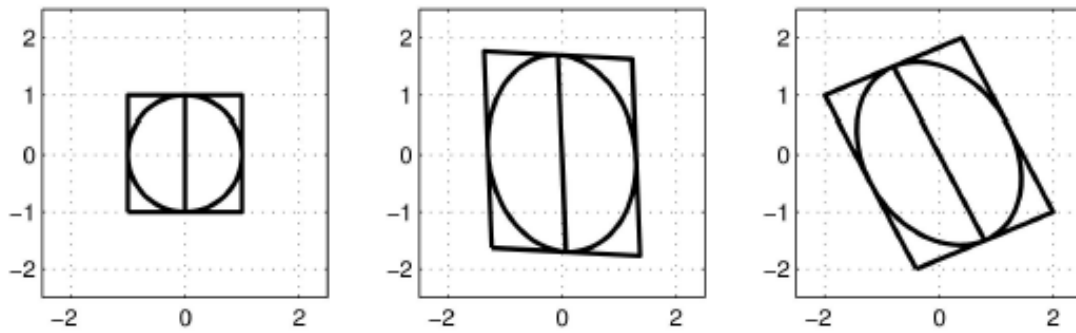


Figura 2: Imagen original (izquierda); zoom y cizalla (centro); rotación (derecha). Extraído de Ashburner & Friston (2003).

En cambio, el enfoque de las deformaciones no lineales asume que existen diferencias en la forma global de los cerebros relacionadas con las variaciones en masa corporal de las personas. Esto implica que las transformaciones no lineales alteran el volumen cerebral siguiendo parámetros cuyos valores no son definidos a priori sino calculados de forma probabilística (ver Figuras 3 y 4) (Penny, Friston, Ashburner, Kiebel, & Nichols, 2011a). Por otra parte, la normalización espacial expande y contrae algunas regiones del cerebro independientemente del tipo de transformaciones empleadas. Por lo tanto, para mantener la proporción original de tejidos en el nuevo espacio estereotáxico se utiliza un segundo proceso denominado modulación. La modulación implica un escalamiento de la imagen normalizada por el monto de las deformaciones. El campo de deformaciones representa los cambios de volumen debido a la normalización espacial afín y no lineal a través del conocimiento y uso del determinante matricial Jacobiano (Structural Brain Mapping Group, 2010). De esta manera, las dos opciones para modular dependen del tipo de normalización seleccionado (Kurth, Lüdgers, & Gaser, 2008):

1. Afín + No lineal: produce imágenes alineadas con la plantilla, y multiplica los valores de los voxels por el Determinante Jacobiano derivado de la normalización espacial. Indica cantidades absolutas de un tejido.
2. No lineal (únicamente): produce imágenes alineadas con la plantilla, pero solo multiplica los valores de los voxels por los componentes no lineales. Esto es útil para comparar el monto de tejidos en diseños entre-sujetos, ya que los valores se encuentran ajustados para escalar de manera proporcional los volúmenes cerebrales individuales.

Finalmente, la herramienta vbm8 calcula el volumen de cada tejido mediante la siguiente fórmula (Gaser, 2008):

$$\text{volfactor} = \text{abs}(\text{det}(\text{M0}(1:3,1:3)))/1000;$$
$$\text{vol} = \text{volfactor} * \text{sum}(\text{cls}\{i\}(:));$$

El script get\_totals lo calcula de idéntica forma, cambiando únicamente los nombres de las variables (Ridgway, 2007):

$$\text{vsz} = \text{abs}(\text{det}(\text{vols}(n).\text{mat}));$$
$$\text{ml} = \text{sum}(\text{img}(\text{img} > \text{thr})) * \text{vsz} / 1000;$$

Como el procedimiento en ambos casos es idéntico, solo varían los inputs de entrada y la capacidad de aplicar máscaras. Por lo tanto, el resultado estará relacionado con el tipo de modulación efectuada.

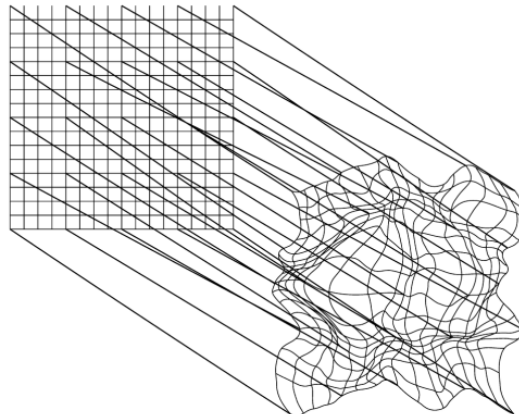


Figura 3: Hipotética deformación no lineal. Extraído de Penny et al. (2011a)

$$\mathbf{y}(\mathbf{x}_i, \boldsymbol{\alpha}) = \sum_{m=1}^M \alpha_m \phi_m(\mathbf{x}_i)$$

Figura 4: Fórmula de las transformaciones no lineales. Extraído de Penny et al. (2011a)

## Referencias:

Ashburner, J., & Friston, K. (2003). Morphometry. In *Human Brain Function* (Second Edi., pp. 1–21).

Gaser, C. (2008). cg\_vbm8\_write.m.

Kurth, F., Lüders, E., & Gaser, C. (2008). *VBM8-Toolbox Manual*.

Penny, W. D., Friston, K. J., Ashburner, J. T., Kiebel, S. J., & Nichols, T. E. (2011a). Non-linear Registration. In A. Press (Ed.), *Statistical Parametric Mapping: The Analysis of Functional Brain Images: The Analysis of Functional Brain Images* (pp. 63–91).

Penny, W. D., Friston, K. J., Ashburner, J. T., Kiebel, S. J., & Nichols, T. E. (2011b). Rigid Body Registration. In A. Press (Ed.), *Statistical Parametric Mapping: The Analysis of Functional Brain Images: The Analysis of Functional Brain Images* (pp. 49–61).

Penny, W. D., Friston, K. J., Ashburner, J. T., Kiebel, S. J., & Nichols, T. E. (2011c). Voxel-Based Morphometry. In A. Press (Ed.), *Statistical Parametric Mapping: The Analysis of Functional Brain Images: The Analysis of Functional Brain Images* (pp. 92–99).

Ridgway, G. R. (2007). get\_totals.m.

Structural Brain Mapping Group. (2010). Modulation. Retrieved from <http://www.neuro.uni-jena.de/vbm/segmentation/modulation/>