

# Atlas Cerebrales.

## Contribución de la informática en su evolución

M. Carmen Juan Lizandra - Carlos Monserrat Aranda  
- Vicente Grau Colomer  
*Departamento de Sistemas Informáticos y Computación  
(Universidad Politécnica de Valencia)*

### 1. INTRODUCCIÓN A LOS ATLAS CEREBRALES

Los atlas terrestres permiten localizar los distintos elementos que en ellos aparecen, tales como ríos, montañas, lagos, ciudades, pueblos, carreteras, etc. Los atlas cerebrales realizan una labor similar pero con las estructuras anatómicas y funcionales del cerebro. Así pues, los atlas cerebrales identifican dónde se encuentran determinadas estructuras anatómicas, como por ejemplo el cuerpo calloso, los ventrículos, etc., o estructuras funcionales como por ejemplo las encargadas de la visión, de los movimientos normales, etc.

Un atlas cerebral consta de imágenes del cerebro. En ellas un experto ha identificado estructuras anatómicas o funcionales. El nombre de dichas estructuras aparece en la imagen indicando su localización. Estas imágenes se conocen como cortes y pueden ser de tres tipos: axial, coronal y sagital, dependiendo del plano de adquisición. La figura 1 muestra los tres planos de orientación utilizados en la adquisición de las imágenes.

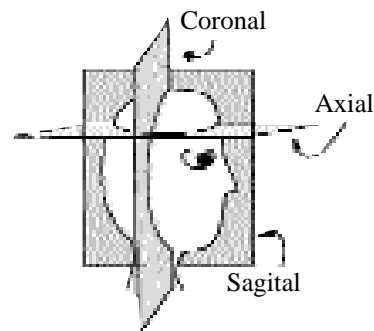
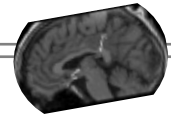


Figura 1. Planos de orientación utilizados en la adquisición de imágenes

En la figura 2 se muestra un corte sagital del atlas impreso de Talairach-Tournoux orientado a referencias (1993) y un corte sagital de atlas impreso de Schaltenbrand-Bailey [SCH59]. En ellos aparecen los nombres de las distintas estructuras en ellos identificadas. Los nombres aparecen abreviados. Algunas de las abreviaturas utilizadas son:

- **G.F.S.** - Gyrus frontalis superior
- **s.c.m.** - Sulcus callosomarginalis
- **s.p.c.** - Sulcus corporis callosi

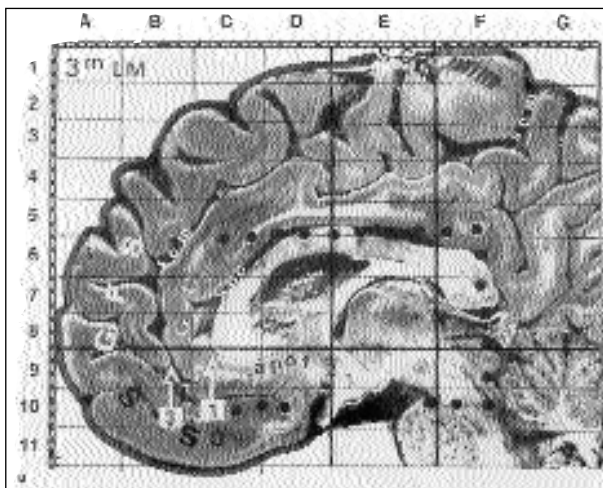
Los nombres de las estructuras están en Latín. Siendo ésta una forma internacional de identificar todas las estructuras cerebrales.



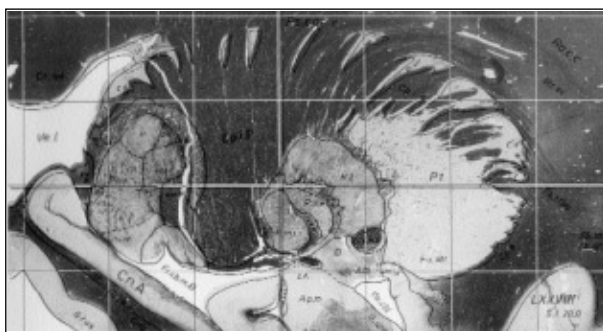
Cada atlas utiliza un sistema de coordenadas espacial, también denominado espacio estereotáctico, para situar los cortes del cerebro. El significado de estereotáctico viene de:

- **stereo** - espacio en tres dimensiones.
- **taxis** - término de la arquitectura griega, que significa relación entre estructuras.

El sistema de coordenadas utilizado en el corte que aparecen en la figura 2a es el de Talairach-Tournoux y en él se pueden observar las subdivisiones horizontales y verticales que conforman dicho sistema de coordenadas. Los sistemas de coordenadas más utilizados son el de Talairach-Tournoux y el de Schaltenbrand-Wahren, sistemas que se comentan en la tercera sección.



(a)

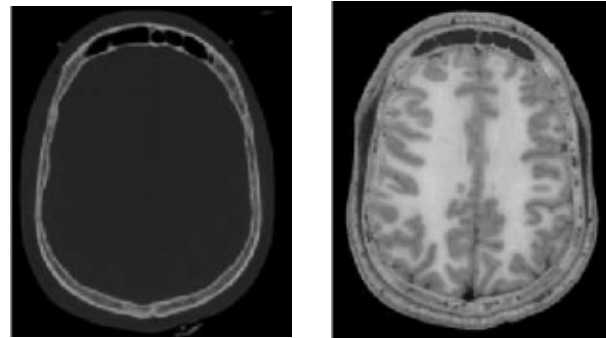


(b)

Figura 2. Cortes de atlas impresos en los que aparecen identificadas diferentes estructuras. (a) Talairach-Tournoux orientado a referencias. (b) Schaltenbrand-Bailey.

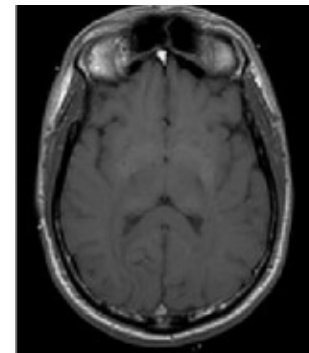
Los atlas pueden estar registrados en distintos formatos como son: en papel, atlas impresos, o bien utilizando un ordenador, atlas digitales. Dependiendo del tipo de imágenes que utilicen, también se pueden clasificar en atlas basados en imágenes de Resonancia Magnética

(RM), de Tomografía Computerizada (TC) o en fotos. En la figura 3 se muestra una imagen ejemplo de cada tipo.



(a)

(b)



(c)

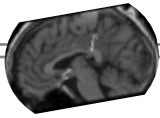
Figura 3. Imágenes extraídas de "Visible Human CD (Male)". (a) Imagen de TC axial de un corte de la cabeza de un hombre. (b) Fotografía axial del mismo corte que en (a). (c) Imagen de RM axial de un corte de la cabeza de un hombre

El inconveniente de los atlas basados en imágenes de RM es que poseen una resolución relativamente baja y falta de contraste en regiones importantes.

Los atlas basados en fotos se desarrollan utilizando fotografías de sujetos congelados y seccionados. Este material fotográfico aunque aporta un mayor detalle anatómico, tiene sus limitaciones.

Si en el mismo atlas se incluyen imágenes de varios tipos, por ejemplo imágenes de RM, TC y fotografías, entonces el atlas recibe el nombre de multi-modal.

Los cortes utilizados en los atlas pueden ser macroscópicos o microscópicos. En el primer caso se muestra el tamaño normal del cerebro, escalado o no. En el segundo las imágenes están ampliadas, se tiñen de diferentes formas para resaltar determinadas estructuras, y se limitan a algunas zonas cerebrales. Por ejemplo el atlas de Talairach-Tournoux utiliza cortes macroscópicos y el atlas de Schaltenbrand-Wahren utiliza cortes microscópicos de la zona central del cerebro.



El objetivo final perseguido con los atlas cerebrales es localizar determinadas estructuras en un sujeto diferente al del atlas. Pero a la hora de implementar un atlas se debe tener en cuenta que: no existen dos cerebros que sean iguales, ni cuando los dos individuos sean lo más parecidos posible, es decir, tengan la misma edad, la misma raza, el mismo sexo, etc. Se ha constatado que, aún en estos casos, existen drásticas variaciones en la geometría cerebral.

Si los dos sujetos no tienen la misma edad, no son del mismo sexo, no pertenecen a la misma raza, entonces las variaciones pueden ser mucho más significativas. Si a esto añadimos un sujeto enfermo y con diferentes estados de enfermedad, ya el tema alcanza un nivel de complejidad considerable.

A pesar de todas estas circunstancias, cuando un atlas localiza las estructuras anatómicas y/o funcionales correctamente puede servir como una guía en planificación de neurocirugía estereotáxica, incluyendo radiocirugía e implantaciones de electrodos. Soportan la interpretación de imágenes, diagnóstico, y también se pueden utilizar como potente herramienta de enseñanza.

Un atlas cerebral se puede utilizar como base para la localización de determinadas estructuras en otro cerebro realizando una localización más o menos aproximada o más o menos exacta. Existen atlas capaces de realizar de forma automática o semiautomática esta localización. Si la localización es automática el atlas localiza las estructuras en el cerebro del paciente sin intervención del usuario. En el caso de la localización semiautomática el usuario debe identificar e indicar una serie de puntos en el cerebro del paciente para que sea posible la localización de las estructuras deseadas. Estos puntos se conocen como marcas (en inglés "landmarks").

En función de la forma en la que se ajustan a los datos de los pacientes, los atlas se pueden clasificar en:

- Atlas impresos/digitalizados: utilización de estos atlas para una localización aproximada de estructuras en el cerebro del paciente.
- Atlas deformables: se deforman elásticamente para ajustarse a los datos del paciente.
- Atlas probabilísticos: generan plantillas anatómicas que retienen información cuantitativa de las variaciones entre sujetos en la arquitectura del cerebro.

En la siguiente sección se indicarán las características más relevantes de cada uno de los tipos de atlas mencionados.

En este artículo no se van a incluir referencias en todas las citas realizadas, dado su gran número, únicamente se incluirán en aquellos casos en los que resulten más relevantes. Tampoco se van a incluir todas las referencias que serían necesarias para incluir una bibliografía completa.

## 2. TIPOS DE ATLAS CEREBRALES

En el intento por establecer las características del cerebro del ser humano en primer lugar aparecieron los atlas impresos. Los atlas impresos poseen limitaciones a la hora de localizar estructuras en el cerebro de los pacientes.

Si a dichas limitaciones añadimos la introducción de los ordenadores y la informática en el campo médico, todo este conjunto de circunstancias posibilitaron la aparición de los atlas digitalizados. Atlas digitalizados que también poseen limitaciones a la hora de localizar estructuras en el cerebro de los pacientes, al igual que sus progenitores, los atlas impresos.

Posteriormente, como una mejora sustancial de los atlas impresos aparecieron los atlas deformables y probabilísticos. Atlas que día a día adquieren mayor relevancia en el ámbito hospitalario.

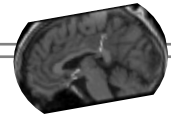
### 2.1 Atlas impresos

Un atlas impreso, básicamente consta de cortes cerebrales, cuyas imágenes son de Resonancia Magnética, Tomografía Computerizada, o fotos, en distintos planos, sagital, axial y coronal, en los que un especialista ha identificado y contorneado estructuras anatómicas y/o funcionales en los distintos cortes cerebrales.

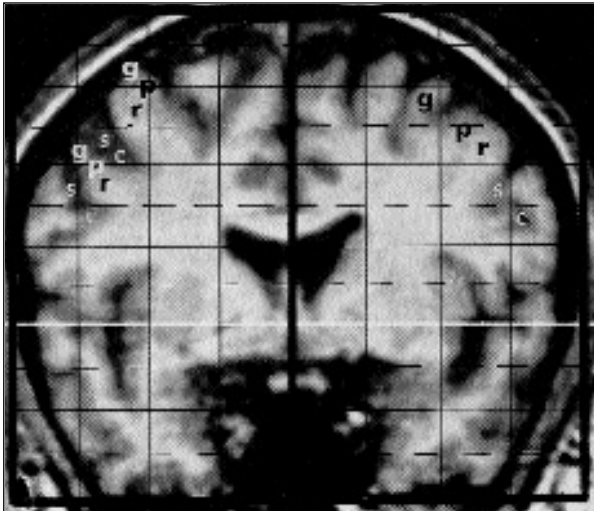
Estos cortes están en el sistema de coordenadas espacial utilizado en el atlas (por ejemplo Talairach-Tournoux, Schaltenbrand-Wahren).

Estos atlas se utilizaban, antes de la aparición de los atlas digitalizados y se siguen utilizando en algunos casos, para la localización aproximada de estructuras anatómicas y/o funcionales.

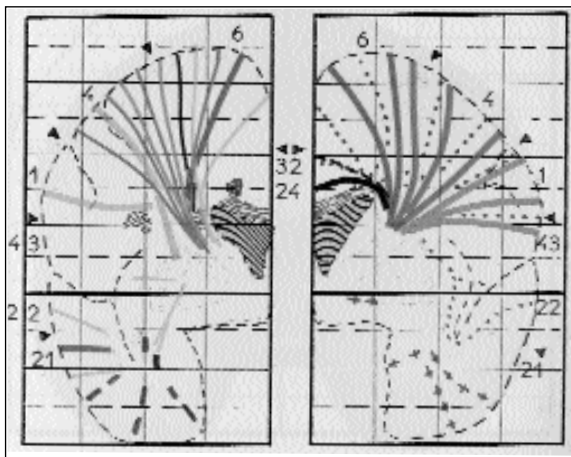
Los atlas impresos más importantes, por orden de aparición son: Schaltenbrand-Bailey, Andrew-Watkins, Van Buren-Borke, Schaltenbrand-Wahren [SCH77], Afshar-Watkins-Yap, Schnitzlein-Murtagh, Talairach-Tournoux [TAL88], Ono-Kubik-Abernathey, Talairach-Tour-



noux orientado a referencias [TAL93]. En la figura 4 se puede observar un corte extraído del atlas de Talairach-Tournoux orientado a referencias.



(a)

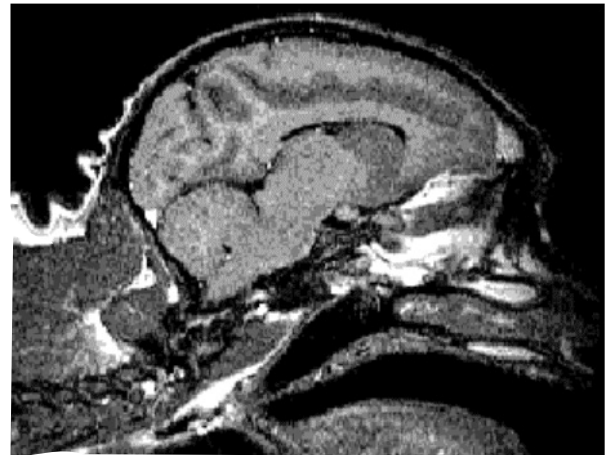


(b)

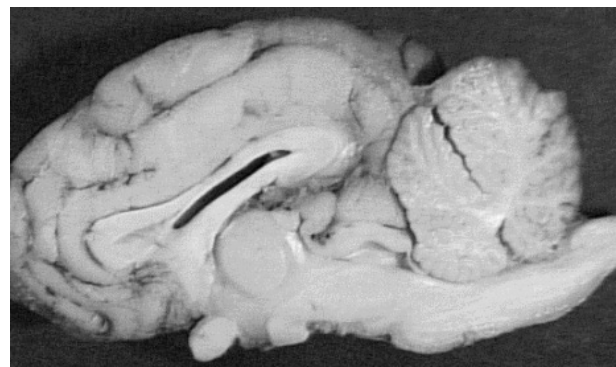
Figura 4. Imagen extraída del atlas de Talairach-Tournoux orientado a referencias. (a) Corte de RM. (b) Su diagrama correspondiente

Cada uno de estos atlas tiene una escala y resolución diferentes, se centra en características funcionales o estructurales distintas, y ninguno es inherentemente compatible con ningún otro. Aunque existen atlas computerizados que pueden trabajar con diferentes atlas y realizan las modificaciones de unos a otros como por ejemplo el "Electronic Clinical Brain Atlas" que incorpora los atlas de Talairach-Tournoux (1988), Talairach-Tournoux orientado a referencias (1993) y Schaltenbrand-Wahren (1977).

La relevancia de los atlas es tal, que incluso existen atlas cerebrales de otras especies tales como ratas, moscas, conejos, monos u ovejas. Véase la figura 5 en la que se muestran dos cortes sagitales del cerebro de un mono y de una oveja, respectivamente.



(a)



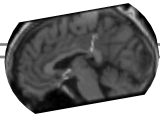
(b)

Figura 5. Cortes sagitales del cerebro de un mono y de una oveja. (a) Corte sagital del atlas de un mono. Extraído de "Stereotaxic MRI Brain Atlas of Monkey" [MON99]. (b) Corte sagital del atlas de una oveja. Extraído de "Sheep Brain Atlas" [SHE99]

## 2.2 Atlas digitalizados

Un atlas digitalizado es un programa de ordenador que incluye los cortes de uno o varios cerebros digitalizados. A la hora de crear un atlas digitalizado se utilizan básicamente dos técnicas:

- Utilizar un atlas impreso y digitalizarlo. En el atlas impreso ya están identificadas determinadas estructuras anatómicas y/o funcionales. El proceso a seguir en este caso es en primer lugar la digitali-



zación del atlas impreso. Posteriormente se realiza una segmentación de las estructuras identificadas en los cortes digitalizados. El objetivo es que el atlas conozca exactamente cuáles son los puntos de cada corte que pertenecen a cada estructura identificada.

- Crear un atlas utilizando cortes de un sujeto. Esto implica utilizar cortes de RM, TC o fotos del cerebro de un sujeto e identificar y segmentar todas y cada una de las estructuras deseadas en cada corte.

Básicamente un atlas digitalizado visualiza los cortes en él incluidos e identifica las estructuras que aparecen en dichos cortes.

Algunos atlas incluyen la posibilidad de identificar de forma aproximada estructuras anatómicas y/o funcionales en el cerebro de un sujeto diferente al del atlas. Para ello, en primer lugar, el paciente debe situarse en el mismo sistema de coordenadas espacial que el atlas. Para conseguir este objetivo en primer lugar se identifican una serie de puntos en el cerebro del paciente que sirvan de referencia. Después se determinan cuáles son las diferencias que existen en los tres ejes x, y y z del cerebro del paciente y el del atlas. Por último se realizan los giros, escalados y rotaciones necesarios para colocar el cerebro del paciente en el mismo sistema de coordenadas que el atlas. Generalmente para la identificación de los puntos de referencia se utilizan dos estructuras fácilmente identificables como son la comisura anterior y la comisura posterior.

La comisura anterior es una estructura que tiene forma de bigote y conecta los dos hemisferios cerebrales. La comisura posterior conecta el cerebro medio izquierdo y derecho, es más pequeña y difícil de encontrar.

Utilizando este sistema en determinados casos la localización de algunas estructuras puede ser adecuada, como por ejemplo si las estructuras están cercanas al origen del sistema de coordenadas, como por ejemplo el tálamo, estructuras que tengan poca variabilidad entre sujetos o aquellas que se encuentren cerca de los puntos clave del sistema de referencia (comisuras anterior y posterior). Pero para la localización de zonas más variables de la corteza cerebral (por ejemplo el neocórtex y las zonas perisilvianas) y en regiones del cerebro altamente asimétricas entre los dos hemisferios cerebrales no resultará adecuada la utilización de este sistema. Por consiguiente, en estos últimos casos la identificación no es exacta y dista mucho de ser útil en la práctica clínica, dado que es una aproximación muy burda que no garantiza la exactitud requerida por los especialistas.

Varios grupos de investigación han creado atlas digitalizados. Estos programas incorporan o no atlas impresos. A continuación se citan algunos de ellos: atlas de Talairach-Tournoux (INSERM Rennes, University Hospital Eppendorf), Atlas de Schaltenbrand-Wahren (Mayo Clinic), Atlas digitalizado de Scaltenbrand-Bailey, Van Buren-Borke, y Schaltenbrand-Wahren (University of New Mexico), Atlas interpolado de Schaltenbrand-Bailey (Kurume University) o Electronic Clinical Brain Atlas (Universidad Johns Hopkins y la Universidad Nacional de Singapur) [ECB98][ECB99].

En la mayoría de estos atlas digitalizados se incorporan uno, dos o más atlas impresos. Como se ha comentado cada atlas tiene su propia escala y resolución, pero estos programas realizan las modificaciones oportunas de unos a otros para que se puedan ver los cortes equivalentes entre ellos. Dos de los atlas más utilizados son el de Talairach-Tournoux y el Schaltenbrand-Wahren.

Los atlas digitalizados permiten visualizar los distintos cortes de los atlas incluidos así como las estructuras en ellos identificadas. Generalmente la identificación de estas estructuras se realiza seleccionando la estructura deseada de una lista de estructuras y en ese momento se señala la parte del corte en la que se encuentra dicha estructura. A veces también se puede seleccionar un punto de la estructura deseada en el corte y aparece en la pantalla su nombre señalando la estructura seleccionada.

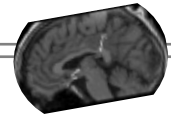
### 2.2.1 *Electronic Clinical Brain Atlas*

En este punto, como ejemplo de atlas digitalizado, comentaremos muy superficialmente las características más relevantes del Electronic Clinical Brain Atlas.

El Electronic Clinical Brain Atlas incluye los siguientes atlas digitalizados:

- Talairach-Tournoux (1988)
- Talairach-Tournoux orientado a referencias (1993)
- Schaltenbrand-Wahren (1977)

El programa permite la visualización de los distintos cortes de todos los atlas incluidos, así como las estructuras en ellos identificadas. En la pantalla de la aplicación aparece una lista con los nombres de todas las estructuras que aparecen en el corte que se encuentra en pantalla. Al seleccionar uno de dichos nombres aparece una flecha en la pantalla indicando la zona en la que se encuentra dicha estructura. En la figura 6 se ha incluido dicha pantalla. En su parte derecha aparece una lista



con los nombres de las estructuras que se pueden identificar en el corte que aparece en pantalla.

También se puede seleccionar un punto de la estructura deseada en el corte y aparece en la pantalla su nombre señalándola.

Los nombres de las estructuras, al igual que en los atlas impresos, están en Latín. Al lado de las mismas aparece su abreviatura. Abreviatura que aparece en el corte que se muestra en la zona de visualización al seleccionar de una u otra forma dicha estructura. Por ejemplo algunas de las abreviaturas utilizadas son:

- CC - Corpus Callosum (Cuerpo calloso).
- CA - Commissura anterior cerebri (Comisura Anterior).



Figura 6. Pantalla del Electronic Clinical Brain Atlas

Entre las opciones incluidas en la aplicación cabe citar las siguientes.

1. Se puede seleccionar el tipo de corte a visualizar: axial, coronal o sagital. Para ello se selecciona el botón correspondiente a la opción elegida. Botones que se muestran en la pantalla en la parte superior izquierda.
2. Se puede visualizar el siguiente corte o el anterior al actualmente mostrado en pantalla seleccionando **>** o **<**, respectivamente.
3. También se puede seleccionar el atlas a utilizar. La aplicación mostrará el tipo y número de corte actualmente seleccionado utilizando uno de los posibles tipos de atlas. Existen cuatro botones en la parte superior que permiten realizar esta selección. Estos botones cambian su apariencia, mos-

trando una imagen axial, sagital o coronal en función del corte seleccionado.



Se selecciona el atlas de Talairach-Tournoux (1988). No aparece la imagen de RM. Se muestran contorneadas o rellenas algunas estructuras. Un ejemplo de este tipo de visualización es el que aparece en la figura 7c.



Se selecciona el atlas de Talairach-Tournoux (1988). Aparecerá la imagen de RM y en algunas imágenes se muestran contorneadas o rellenas algunas estructuras. Un ejemplo de este tipo de visualización es el que aparece en la figura 7b.



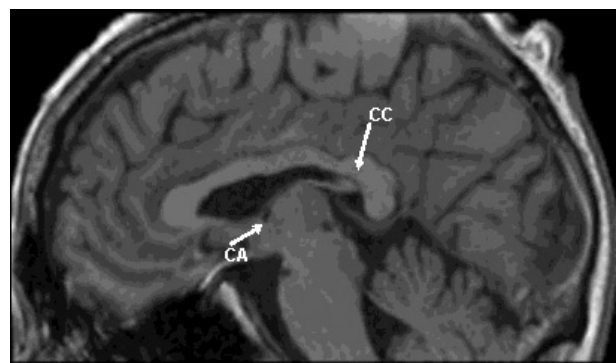
Se selecciona el atlas de Talairach-Tournoux orientado a referencias (1993). Un ejemplo de este tipo de visualización es el que aparece en la figura 8a.



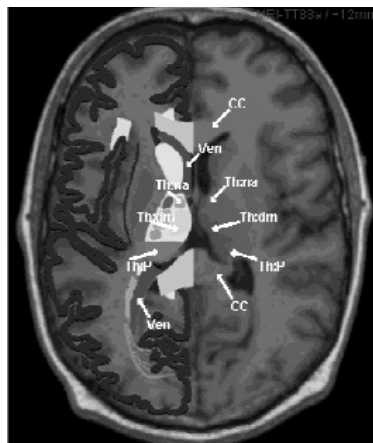
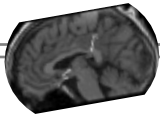
Se selecciona el atlas de Schaltenbrand-Wahren. En la parte superior de este botón puede aparecer **IMG**, como en el ejemplo, en cuyo caso aparece la imagen del corte. Véase la figura 9a. O bien **I+C**, apareciendo la imagen más el contorno de las estructuras en él identificadas. O bien, **CONT**, en este caso únicamente se muestra el contorno de las estructuras. Véase la figura 9c.

A continuación se mostrarán varios ejemplos extraídos del Electronic Clinical Brain Atlas.

En primer lugar en la figura 7 se muestran varios cortes del atlas de Talairach-Tournoux (1988).



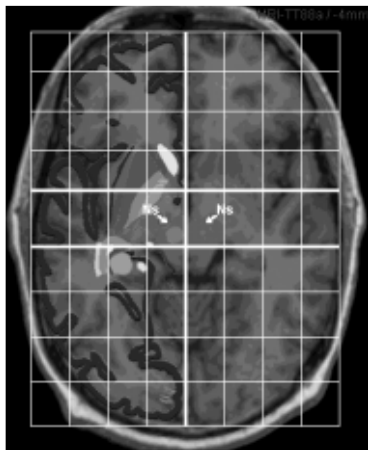
(a)



(b)



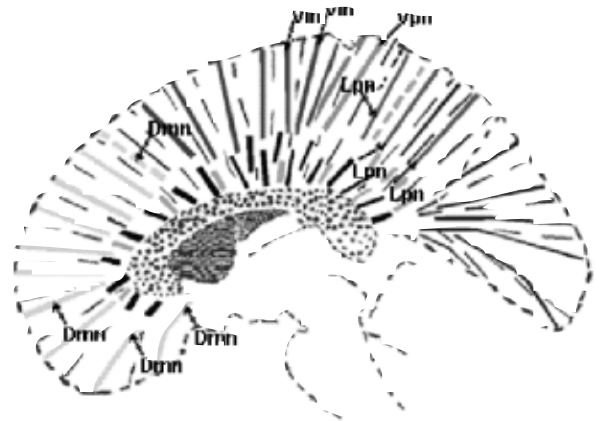
(c)



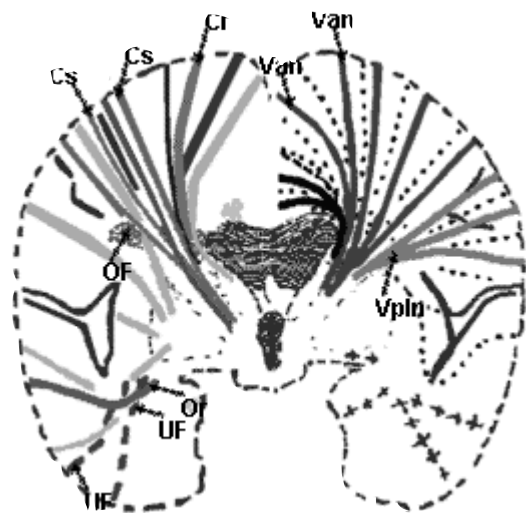
(d)

Figura 7. Varios cortes extraídos del atlas de Talairach-Tournoux (1988) en el Electronic Clinical Brain Atlas. (a) Corte sagital en el que se muestran distintas estructuras. (b) Corte axial en el que se muestran distintas estructuras. (c) Corte axial en el que únicamente se muestran las estructuras, no la imagen de RM. (d) Corte axial en el que se muestra una rejilla superpuesta que representa el sistema de coordenadas en el que se ubica el cerebro, en este caso el de Talairach-Tournoux

A continuación en la figura 8 se muestra varios cortes del atlas de Talairach-Tournoux orientado a referencias (1993).



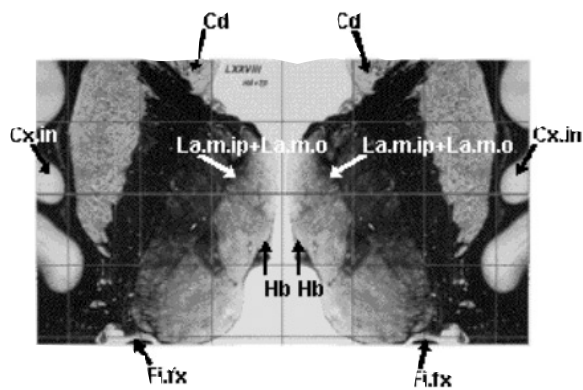
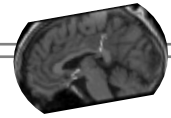
(a)



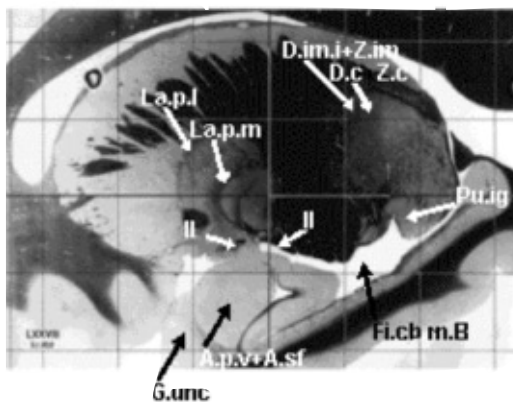
(b)

Figura 8. Varios cortes extraídos del atlas de Talairach-Tournoux orientado a referencias (1993) en el Electronic Clinical Brain Atlas. (a) Corte sagital en el que se muestran distintas estructuras. (b) Corte coronal en el que se muestran distintas estructuras

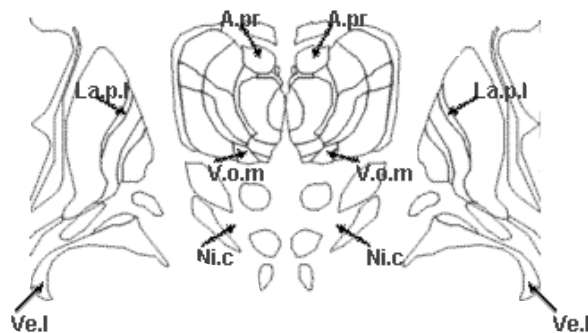
Por último en la figura 9 se muestran varios cortes del atlas de Schaltenbrand-Wahren (1977).



(a)



(b)



(c)

Figura 9. Varios cortes extraídos del atlas de Schaltenbrand-Wahren (1977) en el *Electronic Clinical Brain Atlas*. (a) Corte axial en el que se muestran distintas estructuras. (b) Corte sagital en el que se muestran distintas estructuras. (c) Corte axial en el que se muestra únicamente el contorno de las estructuras y la abreviatura de algunas de ellas

## 2.3 Atlas cerebrales deformables

Como se ha comentado no existen dos cerebros de dos sujetos que sean iguales. Incluso si el sujeto está

sano, las estructuras cerebrales varían entre individuos, no sólo en tamaño y forma, sino también en su orientación con respecto a las otras. Todo esto presenta un problema a la hora de intentar crear atlas estándares que sirvan con muy pocas modificaciones para cualquier sujeto.

Como se ha visto en el punto anterior los atlas digitalizados son adecuados para localizar estructuras cercanas al origen del sistema de coordenadas, que tengan poca variabilidad entre sujetos, etc. Pues bien como una mejora de estos atlas aparecieron los atlas deformables que permiten identificar estructuras no sujetas a las citadas restricciones.

Además de la variabilidad de estructuras entre sujetos, existen determinadas estructuras en el cerebro que son muy difíciles de identificar, incluso por un experto. En ambos casos es cuando adquiere gran relevancia el uso de los atlas deformables para su localización.

Los atlas deformables parten de un atlas digitalizado y los cortes del cerebro de un paciente, y automática o semiautomáticamente ajustan las estructuras anatómicas y/o funcionales identificadas en el atlas digitalizado a sus estructuras homólogas en el cerebro del paciente. Es decir, el objetivo final es identificar una estructura en el cerebro del paciente que sea la misma a la seleccionada en el atlas. Para ello existen distintas técnicas, que comentamos muy superficialmente en esta sección.

Los atlas deformables intentan aproximarse a las estructuras del paciente deformando elásticamente el atlas original hasta que se ajusta, lo más exactamente posible, a dichas estructuras.

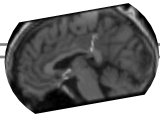
Una de las técnicas utilizadas para deformar elásticamente el atlas hasta ajustarse a los datos del sujeto es la transformación de warping (dilataciones locales, contracciones y recortes). Las deformaciones se pueden realizar en y entre modalidades y en un único sujeto o entre una población. Los algoritmos de warping se pueden clasificar como: warping basado en el punto, warping basado en densidad, ajuste global y ajuste local.

Otros investigadores han implementado atlas deformables basándose en mecanismos continuos. Tales como Christensen y otros, que han propuesto un atlas deformable basado en imágenes de RM, que utiliza transformaciones de warping basadas en fluidos viscosos.

Las redes neuronales también se han utilizado para la deformación de atlas.

Las técnicas aquí citadas no son las únicas que se han utilizado. Existen algunas otras, que no se comen-





tarán dado que en este artículo se pretende ofrecer una visión general sobre los atlas y creemos que una profundización o una relación exhaustiva de las mismas excede los límites del mismo.

## 2.4 Atlas cerebrales probabilísticos

En este tipo de atlas se tiene muy en cuenta que no existen dos cerebros que sean exactamente iguales, incluso cuando se dan las circunstancias más idóneas para que sea así, misma raza, mismo sexo, misma edad, etc.

El objetivo de los atlas probabilísticos es generar plantillas anatómicas que retengan la información cuantitativa sobre las variaciones de la arquitectura cerebral entre sujetos.

Existen tres aproximaciones a la hora de construir atlas cerebrales probabilísticos atendiendo a sus fundamentos conceptuales, y son:

- Basados en densidad.
- Basados en etiquetas.
- Basados en deformaciones.

## 3. SISTEMAS DE COORDENADAS

### 3.1. Talairach-Tournoux

En el sistema de coordenadas de Talairach-Tournoux existen una serie de puntos que determinan unos planos que forman el sistema. Y son los siguientes:

- 1) Plano horizontal que se determina por la línea CA-CP, donde CA es la Comisura Anterior y CP es la Comisura Posterior.
- 2) Plano vertical. La línea VCA es una línea tangencial al margen posterior de la Comisura Anterior y define este plano.
- 3) La línea VCP es una línea vertical tangencial al margen anterior de la Comisura Posterior.
- 4) La línea media en el plano interhemisférico sagital es la base para las medidas en los desplazamientos laterales.

El origen de coordenadas está localizado en el punto de intersección de las líneas CA-CP y VCA.

Para establecer una subdivisión adecuada en el sistema tridimensional se utiliza la siguiente técnica. El sistema se establece de acuerdo a las dimensiones máximas del cerebro en los tres planos del espacio, concretamente la denominación técnica de los puntos que determinan este volumen es la siguiente:

- El punto más alto del córtex parietal.
- El punto más posterior del córtex occipital.
- El punto más inferior del córtex temporal.
- El punto más anterior del córtex frontal.
- El punto más lateral del córtex parietotemporal.

Este volumen total se divide horizontalmente, encima de la línea CA-CP en ocho partes, y debajo de la línea en cuatro partes; y verticalmente, anterior a la línea VCA en cuatro partes, y posterior a la línea VCP en cuatro partes.

El espacio entre las líneas VCA y VCP se divide en tres partes para una localización más exacta de las estructuras centrales.

Los rectángulos de la rejilla dividen la masa cerebral en paralelogramos rectangulares que corresponden:

- En la dirección vertical hay doce niveles, referidos como 1-12.
- En la dirección anteroposterior, nueve sectores, denominados A-I.
- En la dirección transversal hay cuatro franjas, denominadas a-d.

Véase la figura 10 en la que se muestra la citada subdivisión.

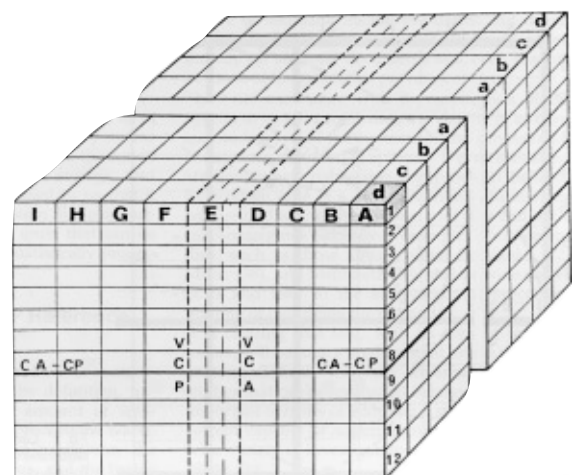
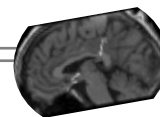


Figura 10. Cerebro dividido en paralelogramos ortogonales según el sistema de coordenadas de Talairach-Tournoux



### 3.2. Schaltenbrand-Wahren

El sistema de Schaltenbrand-Wahren utiliza tres planos de referencia, que son:

- Sagital medio, divide al cerebro en dos mitades simétricas.
- Intercomisural es el que pasa por la línea CA-CP.
- Comisural medio. Es perpendicular a los dos anteriores.

El origen del sistema de coordenadas es el punto medio de la línea intercomisural (CA-CP).

### 4. CONCLUSIONES

Los atlas cerebrales permiten identificar las estructuras anatómicas y funcionales del cerebro humano. En este artículo se ha presentado una introducción a los mismos y se han comentado los distintos tipos que existen.

Como se ha comentado, existen numerosas aplicaciones de los atlas, pero entre ellas cabe destacar las siguientes.

Los atlas cerebrales se utilizan en neurocirugía y consiguen que las intervenciones sean más rápidas y precisas. Dadas estas ventajas cada vez son más los neurocirujanos y especialistas que los utilizan como herramienta de gran ayuda en su trabajo.

También constituyen una potente herramienta de enseñanza, utilizándose en numerosas universidades de medicina.

Existen numerosos grupos de investigación que en colaboración con hospitales y neurocirujanos están creando atlas cada vez de mayor calidad y para muy diversas utilidades.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [ECB98] Nowinski, W.L.; Bryan, R. Nick; Raghavan, Raghu., The Electronic Clinical Brain Atlas. Multiplanar Navigation of the human Brain. CD-ROM. Thieme, New York-Stuttgart
- [ECB99] Electronic Clinical Brain Atlas. Thieme CD-ROMs. Internet, 1999. <http://www.Thieme.com/onGILLKAEGMMJH/display/480>
- [MON99] Stereotaxic MRI Brain Atlas of Monkey. Internet, 1999, <http://www.med.nihon-u.ac.jp/department/physiol1/index.html>
- [SCH59] Schaltenbrand G, Bailey W., Introduction to stereotaxis with an atlas of the human brain, Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 1959.
- [SCH77] Schaltenbrand G, Wahren W, Atlas for Stereotaxy of the Human Brain. Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 1977
- [SHE99] The Sheep Brain Atlas. Internet, 1999. <http://web.mit.edu/afs/athena.mit.edu/org/b/bcs/www/sheepatlas/sheep.htm>
- [TAL88] Talairach J, Tournoux P, Co-planar stereotaxic atlas of the human brain. Stuttgart: Georg Thieme Verlag/Thieme Medical Publishers, 1988
- [TAL93] Talairach J, Tournoux P, Referentially Oriented Cerebral MRI Anatomy. Atlas of Stereotaxic Anatomical Correlations for Gray and White Matter. Stuttgart: Georg Thieme Verlag/Thieme medical Publishers, 1993