

2.1 Cerebelo

2.1.1 Estructura cerebelosa

El **cerebelo** es el órgano más grande del encéfalo y está ubicado detrás de la protuberancia y el bulbo raquídeo, en la fosa craneana posterior.

El cerebelo se divide en dos hemisferios, separados por el **vermis** (esta es una estructura de importancia, ubicada en la zona media del lóbulo posterior y anterior). En el vermis, concluyen su camino muchas de las señales somáticas de distintas áreas del cuerpo. Además, tiene un papel muy importante en la regulación de la postura en procesos subconscientes.

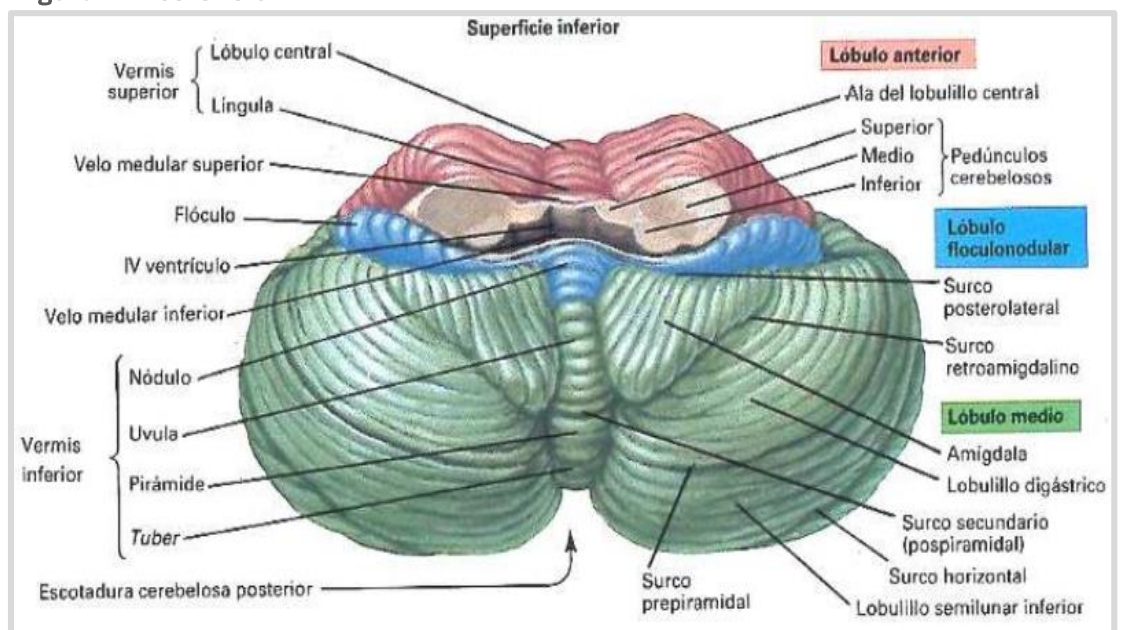
El cerebelo se puede dividir, además, en tres lóbulos, a saber: **lóbulo floclonodular**, **lóbulo anterior** y **lóbulo posterior**, también llamado medio.

- **Lóbulo posterior:** es la parte más grande del cerebelo y está ubicado entre la cisura primaria y uvulonodular. Está formado por dos hemisferios cerebelosos. A su vez, tiene estrecha relación con la corteza cerebral e interviene en la planeación e iniciación de movimientos. Este lóbulo “asegura la organización automática de la motricidad voluntaria” (Rigal, 1987, p. 77).
- **Lóbulo floclonodular:** está situado por detrás de la cisura uvulonodular y forma parte del arquicerebelo, el cual posee estrecha relación con el sistema vestibular, por lo que está intimamente relacionado con el equilibrio. “Contribuye al equilibrio mediante sus relaciones con los núcleos vestibulares que administran la actividad y la musculatura axial y proximal” (Rigal, 1987, p. 77).
- **Lóbulo anterior:** “puede verse sobre la superficie superior del cerebelo y está separado del lóbulo medio por una cisura en forma de V llamada cisura primaria” (Snell, 1999, p. 218). Posee conexiones recíprocas con la médula espinal y participa en el control del tono muscular. Tomando palabras de Rigal (1987), este lóbulo controla el tono postural de los miembros y en la locomoción.

Su estructura está compuesta por la sustancia blanca en el interior, aunque se hallan pequeños cúmulos de sustancia gris, los cuales se denominan **núcleos intracerebelosos** y la sustancia gris en la periferia, llamada **corteza cerebelosa**, la cual se divide en 3 capas:

- 1) Capa molecular: presenta dos tipos de neuronas, a considerar, las **células estrelladas externas** y las **células en cesta interna**.
- 2) Células de Purkinje: Son neuronas grandes de Golgi tipo 1 y están dispuestas en una sola capa. Las dendritas de estas células se dirigen a la capa molecular donde sufren una ramificación profusa. De la base de estas células nace un axón que se dirige hacia lo más profundo del cerebelo, pasa la capa granulosa y se inserta finalmente en la sustancia blanca. Aquí adquiere una capa de mielina para seguir su camino hasta sinapsar en otras células nerviosas de los núcleos intracerebelosos (estos son cúmulos de sustancia gris, alojados en la sustancia blanca). Los núcleos son cuatro: **núcleo dentado, emboliforme, globoso y fastigio** (o **del techo**).
- 3) Capa granulosa: está formada por células pequeñas, cuyos axones se dirigen a la capa molecular y se bifurcan en forma de "T" (fibras paralelas) (Snell, 1999).

Figura 1: El cerebelo



Fuente:[Imagen sin título sobre cerebelo]. (s. f.). Recuperada de <http://neurocienciayplasticidadcerebraluned.blogspot.com/2012/02/>

Según Snell (1999), la ubicación anatómica de los distintos núcleos cerebelosos es:

- **Núcleo dentado:** es el más grande de los núcleos cerebelosos. Tiene la forma de una bolsa arrugada con el orificio hacia el lado interno.
- **Núcleo emboliforme:** está ubicado dentro del núcleo dentado y es de forma ovoide.
- **Núcleo globoso:** se encuentra dentro del núcleo emboliforme y está compuesto por un grupo de células redondeadas.

- **Núcleo fastigio:** está ubicado cerca de la línea media del vermis, próximo al techo del cuarto ventrículo.

La sustancia blanca se encuentra en grandes cantidades en los hemisferios cerebelosos y una pequeña parte en el vermis. Dicha sustancia está compuesta por **fibras intrínsecas, fibras aferentes y fibras eferentes**. Las **fibras intrínsecas** nunca salen del cerebelo. Estas se encargan de conectar la corteza cerebelosa con el vermis y, en otras ocasiones, conectan ambos hemisferios cerebelosos. Las **fibras aferentes** constituyen la mayor cantidad de sustancia blanca y se dirigen hacia la corteza cerebral e ingresan al cerebelo a través de los pedúnculos cerebelosos medios e inferiores. Las **fibras eferentes** son las vías de salida del cerebelo. El camino comienza a partir de los axones de las células de Purkinje que ingresan a núcleos intracerebelosos para hacer sinapsis, mientras otro grupo de axones sale del cerebelo sin hacer sinapsis en los núcleos intracerebelosos.

“Las fibras de los núcleos dentado, emboliforme y globoso abandonan el cerebelo a través del **pedúnculo cerebeloso superior**. Las fibras del núcleo fastigio lo hacen a través del **pedúnculo cerebeloso inferior**” (Snell, 1999, p. 223). Los pedúnculos superiores conectan al cerebelo con el mesencéfalo, los medios lo conectan con la protuberancia y los inferiores lo conectan con el bulbo raquídeo.

2.1.2 Rol del cerebelo en el perfeccionamiento motriz

El **cerebelo** es un órgano del SNC que recibe información de distintas partes del cuerpo constantemente. El programa motor comienza su viaje desde el área 4 hasta la médula, la información re-aferente (*feedback*) trepa por la médula, se desvía por la oliva inferior, ingresa al cerebelo y, en su corteza, se produce precisamente este acto de comparar lo que teníamos intención de hacer (valor eferencial) con lo que realmente hacemos (valor aferencial). El rol del cerebelo es, entonces, comparar los dos valores y detectar las diferencias; por ello, puede intervenir a los efectos de intentar que lo que efectivamente esté sucediendo, se parezca a lo que en realidad sucede, esto es, coordinar, tratar que lo que pasa sea parecido a lo que teníamos planeado con anterioridad.

El cerebelo tiene distintas vías, puede intervenir directamente el tracto corticoespinal para que las acciones se corrijan, puede intervenir el área 6 para ajustar el programa motor y, en caso de ser necesario, puede cambiar el programa motor. Cambiar el programa preestablecido en las áreas superiores de la corteza demanda más tiempo que ajustarlo. Si es necesario cambiarlo, tendremos un retraso, lo cual, de alguna manera, justifica los movimientos de amague o disuasión. El cerebelo puede trabajar en los dos niveles: **ajustar o cambiar el programa**. El cerebelo es imprescindible para coordinar.

A partir de sus múltiples vías de aferencias y eferencias, el cerebelo contribuye a la regulación y control del acto motor, aunque la mayoría de sus acciones escapen al uso de la conciencia. Los **hemisferios cerebelosos** anticipan al movimiento y, de ese modo, dejan “preparados” a los músculos que van a intervenir, en tanto que las **zonas intermedias** van a influir en la realización de dicho movimiento y parametrizar los niveles de fuerza, dirección, velocidad y el frenado para la culminación de aquel.

El cerebelo posee amplia relación con las motoneuronas gamma, las cuales preactivan los husos neuromusculares y predisponen a la musculatura para la acción. Una vez iniciado un movimiento, este órgano es el encargado de comparar la acción que se ejecuta con un modelo “ideal” de acción, y, en caso de detectar un error, podría modificar o cambiar el programa motor. Es posible que el cerebelo pueda anticiparse a las acciones erróneas, pero siempre le resultará más sencillo anticiparse a acciones ya experimentadas que a errores producidos en acciones nuevas.

El rol de comparar del cerebelo, entre lo planificado en áreas superiores y lo ejecutado en la práctica, es factible que reciba una copia de la eferencia motriz central o espinal y de las reaferencias propioceptivas, por lo cual alcanza simultáneamente las motoneuronas alfa, que regulan la potencia muscular, y las motoneuronas gamma, que ajustan los receptores musculares de posición y velocidad y ejercen un papel primordial en el control del desarrollo de los actos motores lentos o rápidos. En el caso de movimientos rápidos bien aprendidos, el cerebelo intermedio aseguraría el control por anticipación de los errores eventuales y los suprimiría antes de que ocurriesen (Rigal, 1987).

De acuerdo con las ideas de Guyton (2006), la corteza motora envía muchos estímulos, más de los necesarios para realizar un determinado movimiento, por lo cual una de las acciones del cerebelo es la siguiente: a partir de recibir la aferencia del modelo de activación que se realizará, enviar señales inhibitorias a la corteza motora para que la acción sea lo más parecida a lo programado. El cerebelo analiza la intensidad de fuerza y velocidad de la acción muscular para alcanzar determinado objetivo automáticamente y les envía instantáneamente señales inhibitorias a los músculos agonistas y señales excitatorias a los músculos antagonistas.

El cerebelo cuenta con algunas funciones que lo convierten en un órgano indispensable para el control motor eficiente:

- La primera de las funciones que se debe destacar es su **capacidad de amortiguar**: muchos de los movimientos del cuerpo se dan en forma pendular. Como en todo péndulo, el movimiento comienza

con una determinada fuerza capaz de sobrepasar el propósito inicial y, a medida que el péndulo se desplaza, otra fuerza detiene el movimiento inicial. En el caso del cerebelo, es él quien se encarga de inhibir ciertos músculos y activar otros, a fin de frenar el movimiento inicial en el punto deseado.

- Otra función importante es su **capacidad de predecir**: como la corteza cerebral tiene que ocuparse de procesos más complejos, es el cerebelo quien se encarga de recibir las reafirmaciones provenientes de distintos receptores que nos posibilitan conocer la posición de nuestro cuerpo o extremidades en un espacio determinado. Esto permite que, a partir de esas señales propioceptivas, se pueda calcular la evolución (probable) de un movimiento en un tiempo determinado. Si bien esta función no es puramente motora, va a incidir en la mayoría de los actos motores (muy importante en los deportes), y tiene que ver con la capacidad del cerebelo de detectar, según los cambios en el campo visual, la velocidad a la que se desplaza un objeto (Di Santo, 2015).

2.1.3 Corrección y cambio del programa motor

Programar supone integrar dos dimensiones neuromotoras:

- Una es justamente **anatómica** (a la que llamamos huella o engrama), la cual es invariante; en suma, es lo que usted retiene de los movimientos.
- Por otro lado, está la **parametrización** o, dicho en otros términos, la posibilidad de variabilidad ilimitada. Es decir, que los protagonistas del movimiento puedan tener una versatilidad absoluta. La versatilidad es la consecuencia de la invariabilidad que ya no es un acto, sino algo que está en la memoria.

Estas dos dimensiones, en definitiva, constituyen el **acto de programar**.

- 1) **Programar** es elegir quiénes son los soldados, los protagonistas adecuados para desenvolver ese engrama de acuerdo con la demanda del contexto. Obviamente, la selección de los protagonistas depende de cuáles podrían ser los más eficientes para resolver el problema de adaptación al entorno.
- 2) **Parametrizar** es una acción decisional y esta supone que su cerebro elija cuáles son los protagonistas adecuados.

Pero armar el programa no supone que este se lleve a cabo. Entonces, ¿dónde sucede la programación neuromotriz?

En definitiva, en dos áreas:

- La mayor actividad, cuando usted arma el movimiento, lo planifica y aún no lo ejecuta, es en el **área 6 (corteza pre-motora)**. Aquí se almacenan los engramas motores.
- También se está descubriendo el rol de otras áreas muy importantes, tales como el **área motora suplementaria** y **pre-área motora suplementaria**, quienes se encargan de activar el programa.

Expuesto lo anterior, podemos afirmar que quien arma el programa no es el mismo que quien decide ejecutarlo. Por supuesto, la experiencia en la programación neuromotriz hace que esto sea más rápido. En la medida en que se tiene mayor experiencia en el movimiento, la acción de programación de mayor complejidad solicita la ayuda de la AMS.

La MP1, el área pre-motora y el área motora suplementaria son una posible pero no necesaria secuencia. ¿Por qué no necesaria? Porque puede perfectamente -sin que medie la acción de la voluntad- desencadenarse una acción del programa; en suma, depender de la respuesta inmediata de un estímulo sin que usted lo inicie, independientemente de un estímulo externo.

Si hay respuesta inmediata a un estímulo, no tenemos la mediación de la AMS y la pre-AMS, pero siempre tenemos la mediación de la corteza pre-motora; en cambio, si usted lo decide, si usted se para frente al arquero a patear un penal, pues allí ya si tenemos la mediación del área motora suplementaria sin respuesta a un estímulo, como, por ejemplo, el del silbato del árbitro.

¿Qué son los parámetros? Para entender esto, debemos saber que el músculo no forma parte de la huella motriz. Sería una tremenda desventaja que lo fuese. Observe todo lo que un subsistema parametra y dirige: trate de cronometrar en milésima de segundos todas las velocidades posibles de los millones de veces que patearon una pelota de fútbol. Imagine que todas las velocidades posibles y sus protagonistas queden en la memoria. ¿Cuánto tardaría su cerebro en encontrar eso para tener que patear en un segundo? Por ello, no sería ventajoso que todo esto pertenezca al engrama.

Otro componente a parametrar es el reclutamiento de unidades motoras, es decir, cuántas fibras musculares voy a reclutar. Por ejemplo, si en cada lanzamiento de básquet debo activar un número determinado de fibras del bíceps, se tornará imposible encontrar el parámetro justo para cada situación.

El **entrenamiento inestable** trabaja sobre estos principios, los micromovimientos producidos por la inestabilidad del dispositivo van ajustando la parametrización del programa. Puede llegar un momento en que decida cambiar el programa porque se está por caer, de modo que, para no caer, debe realizar otra acción, lo que supone cambiar. Mientras dura esto, usted tiene una permanente recalibración de la

parametrización del programa sobre la base de información propioceptiva que va recibiendo, una calibración y una modulación permanentes de los protagonistas óptimos para el despliegue del engrama. Si persiste en los mismos protagonistas mientras se está cayendo y no usa otros, finalmente caerá. El cerebelo puede actuar a efectos de lograr el objetivo de no caer y, así, activar nuevos programas. El cerebelo puede corregir la parametrización del engrama, lo cual se encuentra en el orden de los 80 milisegundos, mientras que cambiarlo supone una duración de entre 400-600 milisegundos. Entonces, ¿siempre es mejor intentar ajustar el mismo engrama? ¿Qué se supone preferible elegir? Esto marca el error que tanta gente comete: entrenar sus peores versiones de manera reiterada.

Antes de decidirse a ejecutar, el cerebro ya sabe lo que usted va a hacer, es el primero en recibir la información. A los ganglios de la base también les llega copia del programa y estos activan al sistema motor gamma para generar un tono de soporte para lo que se va a hacer. El tono es programado por los ganglios de la base (Di Santo, 2015).

La fundamentación de los movimientos de “amague” (o amago) en el deporte se sustenta en los tiempos de corrección y de cambio del programa motor. Al amagar, obligo a cambiar el programa motor, cuya resolución es mucho más lenta que la corrección de este. Cambiar conlleva más de 400 milisegundos, en tanto que corregir, solo apenas 80 milisegundos o menos. Debemos, entonces, entrenar velocidad de corrección y de cambio de programas motores (Di Santo, 2015).

2.1.4 Alteraciones del movimiento frente a las lesiones cerebelosas

De acuerdo con las funciones que cumple el cerebelo, la destrucción de pequeñas partes de este no afectaría de manera significativa la vida del sujeto, siempre y cuando realice movimientos lentos.

Al enfrentarse a una lesión de una porción de la corteza cerebelosa, otras estructuras nerviosas podrían cumplir algunas de sus funciones. Sin embargo, los trastornos cerebelosos se caracterizan por alterar los niveles de fuerza, distancia y velocidad en acciones musculares, lo cual lleva a distorsionar el acto motor voluntario, tanto en actividades tónicas como fásicas. Existen patologías producidas por disfunciones en los núcleos cerebelosos, como el núcleo dentado, del techo e *interpositum*, entre las cuales podemos mencionar las siguientes.

- **Dismetría:** es también llamada ataxia. Como ya se mencionó, una de las funciones del cerebelo es determinar cuán lejos debe ir un movimiento. Si las funciones de los haces espino-cerebelosos se ven afectados por una lesión determinada, el *feedback* de distintos sectores del cuerpo será distorsionado, por lo que la información

obtenida no será suficiente para generar movimientos precisos y controlados.

Una de las formas de dismetría es la hipermetría, patología en la cual quien la posee no es capaz de medir sus movimientos y, por lo general, se excede de los puntos deseados de alcanzar. Esto sucede porque la corteza motora envía las señales para hacer una determinada acción, como, por ejemplo, alcanzar un objeto con la mano, y los músculos agonistas se activan, pero el cerebelo no es capaz de generar el freno o inhibición de dicho movimiento, lo que da como resultado que el sujeto embista el objeto que quería alcanzar (Guyton, 2006).

- **Disartria:** el cerebelo se encarga, entre sus funciones, de controlar la sucesión de movimientos, por lo cual incluye al habla, en la que intervienen movimientos de músculos faciales, estructuras de la laringe y la lengua. Las personas que padecen este problema se enfrentan a dificultades al momento de hablar, no pueden medir la intensidad del volumen al que hablan ni la duración de las palabras que enuncian. Una persona con disartria puede ser poco entendible al momento de comunicarse, ya que en su dicción habría altibajos de volúmenes y algunas frases podrían ser excesivamente rápidas y otras muy lentas.
- **Adiadococinesia:** se caracteriza por la falta de progresividad de los movimientos. Si el cerebelo nos ayuda a predecir la posición de nuestros segmentos corporales, una falla en él puede producir que no tengamos registro de dichos segmentos en determinados momentos. Esto puede traer como consecuencia que los movimientos comiencen demasiado lentamente o demasiado tarde, por lo que les quita fluidez y progresividad.
- **Temblores intencionales:** sin la ayuda del cerebelo, los músculos se activan sin amortiguación (la cual es una de las funciones del cerebelo). Esta patología se da cuando hay lesiones en el pedúnculo cerebeloso o en el núcleo dentado, los cuales tienen un papel importante en el *feedback* con la corteza motora.
- **Nistagmo cerebeloso:** al igual que en el temblor intencional, aquí hay falta de amortiguación en los movimientos de los globos oculares. Esta patología se produce por lesiones en el lóbulo floculonodular y puede apreciarse cuando se intenta fijar la mirada en un objeto situado en la periferia de nuestro campo visual. Al descentrar la mirada, se producen movimientos oculares oscilantes y rápidos.
- **Rebote:** producto de esta patología, el cerebelo es incapaz de producirle la activación de los músculos antagonistas al protagonista de una determinada acción. Esto se debe a que al concurrir en una lesión cerebelosa, el cerebelo no puede comunicarse eficientemente con la médula para desencadenar el reflejo miotático que frene o interrumpa un movimiento que se desencadenó en forma imprevista.

- **Hipotonía:** las lesiones en los núcleos dentados provocan una disminución del tono de la musculatura periférica del lado donde se encuentra la disfunción cerebelosa (Guyton, 2006).