3.1 Programación

3.1.1 Introducción y referencia histórica

Entrando al paradigma de la línea soviética, la presencia de Nikolai Bernstein se impone. Recordemos que, por toda su idea por profundizar el estudio del movimiento humano, le debemos nociones muy importantes, como por ejemplo, la redundancia y lo relativo a problemas de grados de libertad del movimiento.

A mediados del siglo XX, participó de la discusión de la repetitividad o no del movimiento humano y de la discusión a propósito de si la voluntad abandona en algún momento o no el control de dicho movimiento. En ese momento, se discutía si en el acto de la marcha (militar), la voluntad abandonaba el control motor. De esas discusiones surge, por ejemplo, el paso de ganso, esa marcha en donde la fase de péndulo o de recobro tiene control voluntario para incrementar así la actividad de flexión de la cadera.

El paso de ganso, que luego incorpora el ejército alemán, era una marcha a través de la cual se entendía que, en ningún momento, el control y la voluntad podían abandonar la regulación del movimiento humano y, por tanto, un soldado no podía dejar de tener un control total sobre cualquier fase de su motricidad. Fue por este motivo que se incorporó en las milicias y en los desfiles de ese momento.

Mark Latash, traductor de los trabajos de Bernstein, del ruso al inglés, orientó gran parte de su estudio al fenómeno de la repetición o no del movimiento humano. Él entendía que, por más de que el movimiento se repita una infinidad de veces nunca es igual; siempre existe una variabilidad intrínseca y esa variabilidad también trae aparejadas consecuencias desde la didáctica.

Vladimir Lenin, filósofo y estadista político, fue el primero que, en 1922, ordena la creación, bajo su directiva, del primer centro para el estudio del movimiento humano en la historia europea (allí se formó Bernstein). Lenin entendía que gran parte de la economía financiera dependía del análisis del movimiento de los trabajadores a los efectos de poder economizar sus energías para evitar las lesiones por sobreuso. De allí que propugnó un programa para contrarrestar las consecuencias de un empleo antiergonómico, asimétrico y antibalanceado de los movimientos en función de otro en que los obreros se moviesen económicamente. De ese modo, para Lenin, cuanto más eficazmente realizaran los trabajadores su labor sin consecuencias adversas para su salud, más podrían crecer en términos económicos y productivos como nación.

Es por ese motivo que lo citamos, y pensamos que aquella es una idea brillante para ser aplicada en la actualidad, donde gran parte de los problemas de salud que sufre la población, con altos costos para el Estado, se deben a la falta de movimiento, o bien, al mal movimiento de la población. Estamos en un momento en el cuál el movimiento humano debe volver a ser estudiado en profundidad, no sólo en el ámbito deportivo, sino a los efectos de diseñar estrategias y políticas para evitar las consecuencias de su carencia o de su mala praxis en otros ámbitos no deportivos y para, de la misma manera, proyectar objetivos en función de la mejora de la calidad de vida y también del crecimiento de la economía de las regiones.

A mediados del siglo XIX, John Hughlings Jackson también aporta al carácter funcional del movimiento humano. De él reconocemos una frase muy famosa: "el sistema nervioso nada sabe de músculos, solamente sabe de movimientos".

Figura 1. Referentes del estudio del movimiento humano SXIX, XX y XXI

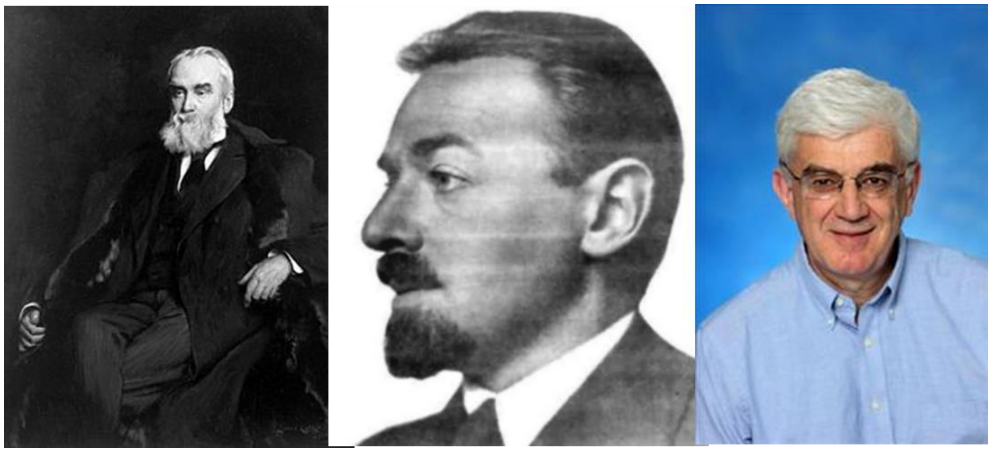


Fig. 1. Arriba: John Hughlings Jackson. Recuperado de https://goo.gl/1a00Jt
Abajo izquierda: Nikolai Bernstein. Recuperado de http://goo.gl/lfcXLT
Abajo derecha: Mark Latash. Recuperado de http://goo.gl/9QYYyV

Este concepto fue muy fuerte para ayudarnos a entender el hecho de que programamos, a través de la articulación de movimientos, soluciones adaptativas a entornos complejos en donde el músculo es contingente al movimiento y no el movimiento contingente respecto del musculo.

Este carácter funcional del movimiento humano fue muy importante porque marcó toda una línea de tendencia en su momento.

Luego de este breve repaso histórico, intentaremos analizar cómo armamos una secuencia específica "nervio-músculo" que hace que el movimiento se manifieste como tal.

Un movimiento, en definitiva, es una secuencia de acciones musculares; en suma, es un conjunto de sub-conjuntos de acciones musculares que ocurren para que exista un desplazamiento de los segmentos óseos.

Esto nos remonta a discusiones contemporáneas muy interesantes y, de alguna manera, nos permite conocer cómo los fisiólogos estudiosos del movimiento discutían encarnizadamente estos temas. Ya introdujimos la figura de Nikolai Bernstein, quien, en definitiva, planteó el problema y sufrió los exilios propulsados por Stalin en una Rusia en la que regía el paradigma de Pavlov, el cual era conveniente porque el concepto de "hombre" entonces se reducía a la idea de aquel que fuera capaz producir y capaz de consumir. Nikolai Bernstein entendía que a través del movimiento uno podía entender el cerebro humano, ya que cuando se estudian neurociencias de la voluntad, se estudian neurociencias del acto motor. Además exponía, entre otras cosas, que el movimiento era el acceso para entender al hombre. Esta discusión nos conecta directamente con el problema de la programación neuromotora.

¿El individuo tiene los movimientos almacenados en el cerebro o los tiene que armar? ¿Cada movimiento permanece enteramente alojado en el cerebro o existe algo parcialmente almacenado que supone el armado como tarea decisional y configurativa de sí? En Rusia, los dos paradigmas competían por imponerse. Por un lado, la posición tradicional pavloviana sostenía que los movimientos son simétricos, que se repiten como tal; mientras que Bernstein, por otro, se oponía y entendía que la repetición era una propiedad de niveles de organización bajos, por lo que, si la complejidad fisiológica era mayor, se volvía imposible repetir movimientos.

Bernstein sostenía, en ese sentido, que la complejidad fisiológica del ser humano no admitía la posibilidad de que un movimiento se repita. Sostenía que los organismos básicos *repiten* y que el *no repetir* es de facto una estrategia sumamente importante para la supervivencia. Para sobrevivir, estas estrategias están directamente relacionadas con las posibilidades de variabilidad motriz. ¿Quiénes repiten movimientos? La mayor variabilidad corresponde a los depredadores, en tanto que la menor variabilidad corresponde a los que son depredados.

El ser humano no repite movimientos. Los organismos unicelulares, básicos, de baja complejidad, repiten. En la medida en que la complejidad sea mayor, menor será la posibilidad de repetir; por lo tanto, no repetir es una ventaja biológica para la supervivencia. Cada movimiento, en el ser humano, varía; y variar, por más sutilmente que fuese, acrecienta las chances de sobrevivir.

Por su parte, el pensamiento de Pavlov sostenía la repetitividad de los movimientos. En ese sentido, el concepto cuadraba perfectamente con la ideología política imperante por entonces en la vieja Rusia. La idea era absolutamente funcional a las aspiraciones de Lenin y Stalin.

En nuestro caso, nos inclinamos por la teoría de Bernstein. La pregunta que subyace es: ¿qué sería necesario para no repetir? Nos preguntamos acerca de las condiciones biológicas para que la variabilidad sea ilimitada. Bernstein justificaba la variabilidad desde algo que no varía. Para que algo así suceda, algo no debería variar: en suma, debe haber algo estable que la justifique.

3.1.2 Concepto de programación

Como antes mencionamos, Nikolai Alexandrovich Bernstein realizó su primer trabajo científico en 1922, cuando él, junto con otros investigadores, fue invitado a estudiar el movimiento en el Instituto Central del Trabajo de Moscú. El propósito del estudio fue optimizar la productividad, y el análisis se centró en el corte de metal con un cincel. Utilizó **técnicas ciclográficas** para rastrear el movimiento humano, que luego seguiría usando para muchos de sus experimentos. Su investigación mostró que la mayoría de los movimientos, como golpear un cincel con un martillo, se compone de movimientos más pequeños. Cualquiera de estos movimientos más pequeños, si se alteran, afectan al movimiento como un todo (Di Santo, 2014).

Bernstein concebía al movimiento como la puerta de acceso para ver y entender el cerebro humano y su mayor cuestionamiento fue si los movimientos se repiten o no. Repasando lo dicho, la posición tradicional (la pavloviana) entendía que los movimientos pueden ser idénticos a sí mismos. Sin embargo, Bernstein se oponía a este concepto. La teoría afirma que el ser humano no repite movimientos en cuanto los organismos unicelulares, básicos, de baja complejidad, sí lo hacen. En la medida en que mayor sea la complejidad, menor será la posibilidad de repetir, por cuanto cada movimiento del ser humano varía.

De aquí desprendemos el concepto de **programación motriz** que consiste en preestablecer una secuencia de acciones antes de que ocurran; se trata, en suma, de establecer por anticipado una secuencia de activaciones musculares en un orden preciso. En términos neurales, se trata de armar un patrón de conexiones específicas entre el sistema nervioso y el muscular, cuyo despliegue, ordenado en el tiempo es el movimiento propiamente dicho.

Distinguimos dos dimensiones que constituyen el acto de programar:

Por un lado, las **invariantes o engramas**: esto es lo que almacenamos respecto al movimiento, como patrones de interconexión neural y memoria motriz. Y, por otro lado, los **parámetros**: se trata de los protagonistas de la acción que no forman parte de la memoria motriz, sino que son solicitados al programar.

Programar un movimiento es una acción, de modo que no hablamos de una estructura anatómica, sino de una función que requiere de correlatos anatómicos. Se trata del **acto de parametrizar una invariante**, esto es: seleccionar los protagonistas más adecuados para que el desenvolvimiento del engrama sea satisfactorio en términos de mayor posibilidad de adaptación al entorno, tanto de sobrevivencia como reproductiva. Por lo tanto, implica una tarea decisional de elegir, entre protagonistas alternativos, a los mejores.

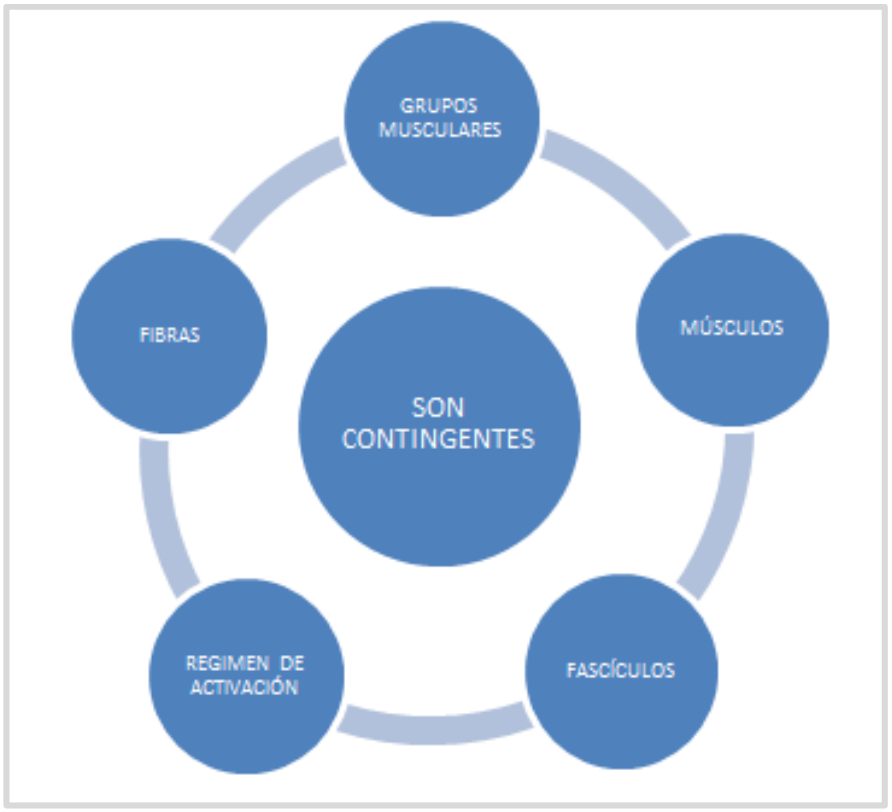
La parametrización de una invariante genera como resultado una serie o secuencia de activaciones musculares que, desenvolviéndose, materializan el movimiento como tal. A continuación exponemos una imagen que grafica con mayor claridad la explicación.

Figura 2: Parámetros del programa motor

Fuente: Elaboración propia.

Los parámetros no forman parte de la huella o "engrama" motriz, ya que sería una desventaja que lo fuesen.

Figura 3: Contingencia



Fuente: Elaboración propia.

También existen otros componentes por parametrizar, pero nada de esto forma parte del engrama.

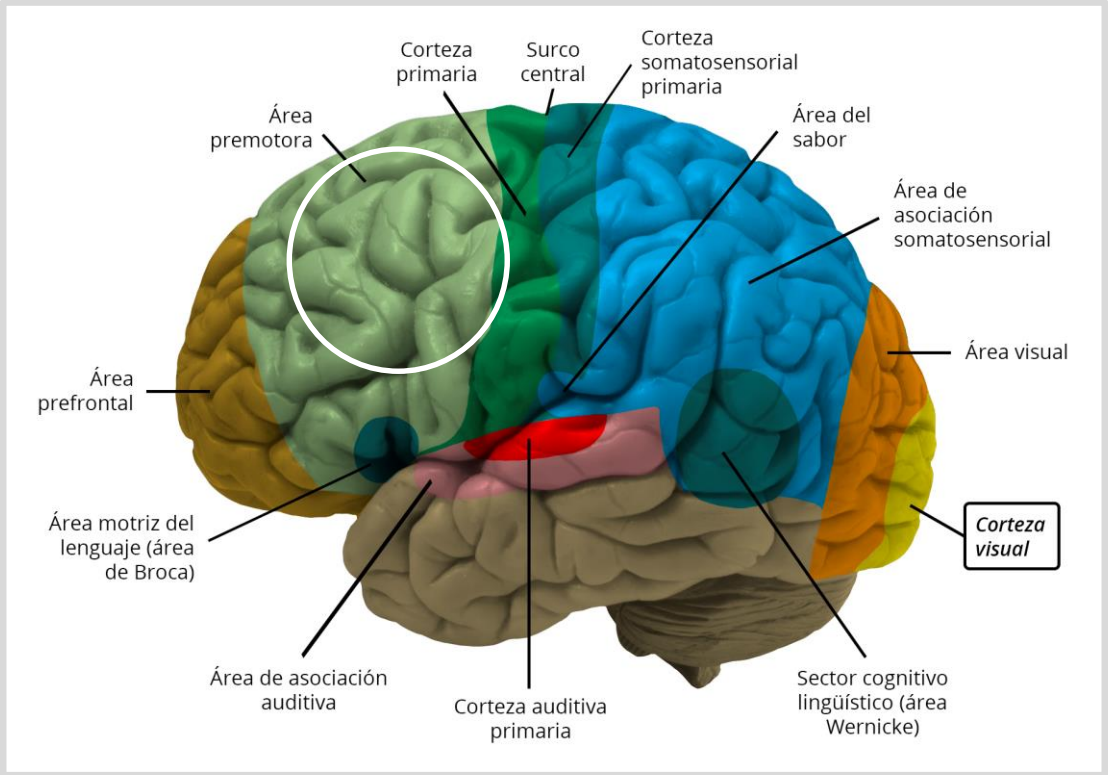
Los componentes por parametrizar son los siguientes, a saber:

- Frecuencia.
- Sincronización.
- Reclutamiento.
- Estabilidad intramuscular.
- Tono muscular.
- Inhibición.
- Sinergias.

Aun así, en la medida en que el movimiento se despliega, van surgiendo múltiples ajustes que dependen del feedback.

Cuando entrenamos, suponemos elegir a los mejores protagonistas para una determinada puesta en escena. Si ellos no están disponibles o se fatigan, recurrimos a las posibilidades alternativas más aptas. Primero, siempre se tiende a la selección de la mejor versión, luego recurrimos a las alternativas y, por último, apuntamos a lo que haya disponible. Resulta clave, entonces, el concepto de entrenar siempre las mejores versiones, tener disponible a los protagonistas más eficientes. Para ello, resulta ventajoso cambiar el engrama, solicitando otros protagonistas o parámetros (nuevamente los más eficientes) antes de que la fatiga producto de la persistencia en el uso de los protagonistas, obligue al empleo de los actores menos aptos. Para lograrlo, es importante la alternancia motriz y la variabilidad, evitar la fatiga, escaparle, buscar nuestras mejores versiones (Di Santo, 2015).

Figura 4: ¿Dónde se programa?



Fuente: Adaptado de Psicobiología del género homo, 2015. Recuperado de http://goo.gl/qfMwss.

¿Dónde se programa? Todo indica que se trata del área premotora o 6 de Brodman; un área muy importante en la planificación de las acciones motrices. Para entender la programación como función, como acto, es fundamental entender que esta es contingente, que no forma parte de la huella o engrama motriz.

3.1.3 Obra de teatro y orquesta como símiles de la programación neuromotora

La obra de teatro

Esta metáfora ayuda a entender la programación motriz. Hay un libreto, un guion y actos. Hay actores de todo tipo: principales, de reparto y extras, hasta suplentes de los principales. También hay un director y un escenario que debe autosostenerse. Hay un contexto y hasta espectadores. Las correspondencias podrían ser las siguientes:

El libreto: es la obra en sí, la que no cambia con el correr del tiempo y que, no obstante, puede corregirse, ajustarse levemente.

Los actores: son contingentes, es decir, son los músculos y, tal como los actores, hay principales, secundarios o de reparto, entre otros.

El director: el correlato sería el de algún subsistema que se encarga de seleccionar los actores correctos para que la puesta en escena sea satisfactoria.

El escenario: sin duda, es el tono muscular; como telón de fondo susceptible de respaldar al acto principal y proveerles estabilidad a los demás actores.

En el símil de la obra de teatro, encontramos una puesta en escena que es el programa, como así también encontramos la obra propiamente dicha. Los actores serían los programas, es decir, serían el acto a través del cual esa obra (invariante) es desplegada en el tiempo. Los programas, están íntimamente relacionados con la toma de decisiones sobre quiénes son los protagonistas de la obra.

Si la obra depende del protagonista, si el parámetro es más importante que el invariante, cuando éste no esté, nunca más se podrá desplegar la obra. De este modo, es una terrible desventaja biológica que el músculo esté guardado en la memoria y no cambie, ya que si, por ejemplo, surge alguna lesión o algún problema en ese músculo, ya nunca más se podrá desplegar el programa; sin embargo, sí es una ventaja biológica que los autores sean contingentes.

Es muy interesante entender esto, sobre todo para detectar y diferenciar si el error es de engrama o de parámetro, ya que de esto se infieren metodologías correctivas muy diferentes. Se podría detectar un problema de parámetro, en donde la distribución espacial y temporal del movimiento sea correcta, pero en donde los protagonistas seleccionados sean erróneos y, por lo tanto, el movimiento no se manifieste tal como lo esperamos.

También se podría inferir un déficit en el engrama propiamente dicho y no saber el dónde y el cuándo del movimiento. Si usted cambia el engrama, cambia la obra y el movimiento es otro, también cambia. Si usted realiza ajustes correctivos al mismo movimiento, está interviniendo sobre el parámetro.

La obra nos sirve de analogía: tenemos libretos, guion y actores; tenemos actores de todo tipo: principales, de reparto y extras. El más inteligente usa siempre los mejores o, mejor dicho, utiliza un subsistema cerebral que programe bien, nunca usa los malos. Esto es, sin dudas, lo que distingue hoy el alto rendimiento del amateurismo; los que no llegan a desplegarse como atletas profesionales, usan siempre malas versiones, malos protagonistas.

Aunque no siempre se pueden usar los mejores actores, podemos conseguir suplentes para los actores principales: si a estos les llegara a pasar algo, puede haber otros que los cubran. A modo de ejemplo: si el supraespinoso es abductor y se lesiona, ese movimiento no se podría

realizar más, pero tiene suplentes que pueden cubrir al principal y realizar el movimiento de todas maneras.

Encontramos subsistemas que están fuertemente involucrados en este proceso. Esto explicado en la metáfora supondría que el director no podría hacerse cargo de todo; por ejemplo, del escenario y el telón de fondo. Se encuentran otros subsistemas encargados particularmente del telón de fondo, de lo que se sustenta la acción.

¿Quién es el director?

Decir que es el cerebro, sería una afirmación superficial. Si afirmamos que el cerebro en su totalidad se encarga de programar, esto sería un holismo y por tanto, una pequeña lesión en cualquier parte del cerebro alteraría la programación de todos los movimientos. Por ejemplo, si usted tiene un accidente cerebro-vascular en una pequeña porción del cerebro perdería todo su repertorio motriz. Por otro lado, decir que es una sola neurona es atribuirle mucho poder a ella. Quienes le atribuían todo el poder a una sola neurona eran los autores Santiago Ramón y Cajal. Mucho más coherente sería afirmar que no sólo se trata de una neurona sino de que hay encargados de esto, es decir, subsistemas de poblaciones neurales.

Es más coherente afirmar que ciertos subsistemas cerebrales se encargan del montaje de la obra, en su totalidad: no solo del casting y de la elección final, sino también de los posibles subsistemas candidatos. Los posibles candidatos a director del proceso de programación motriz son: la corteza prefrontal, la corteza frontal, los ganglios de la base y el tronco encefálico.

La puesta en escena de un movimiento es tan compleja y variable que resulta difícil concebir que sólo un subsistema se encarga de absolutamente todos los detalles. Cuesta muchísimo no aferrarse a esta idea, es decir, aquella que defiende la posibilidad de que usted sea quien decide no sólo el programa motor como tal, sino su puesta en marcha. El concepto de que el director es o alguna entidad similar in-habitando en su cerebro, reaviva la nostalgia por el dualismo.

La orquesta de música

La partitura, la obra en sí misma, es lo que no varía. A lo sumo, puede tener ajustes, pequeñas variaciones. Las versiones pueden ser múltiples y los intérpretes, variados. Lo necesario e irremplazable, es la sinfonía misma, la melodía, la **"melodía kinestésica"** (Luria, 1973); lo demás es contingente.

3.1.4 Correlatos neurales de la programación motriz

¿Dónde sucede la programación neuromotriz? Sucede en dos áreas: en el **área 6 o corteza premotora**, donde la actividad es mayor cuando usted arma el movimiento y lo planifica, pero también se está descubriendo el

rol del área motora suplementaria y también, detrás de esta, la pre-AMS que tiene los roles fundamentales de decidir y activar el programa. Por lo tanto, quien arma el programa, no es el mismo que quien decide ejecutarlo y quien lo ejecuta. Usted puede ser un brillante armador de programas y decidir muy mal cuándo implementarlo.

La programación depende de la intervención de otros sectores, a saber, de la corteza premotora, la motora, la circunvolución frontal ascendente y un poco más arriba, dando vuelta hacia adentro, hacia el cuerpo calloso, se encuentra el área motora suplementaria, que participa en movimientos más complejos que los habituales. Por supuesto, dependiendo de la experiencia en la programación neuromotriz, la acción de programación de mayor complejidad solicita más o menos ayuda de la AMS.

John Eccles (1994) entendía que el asiento del alma era el área motora suplementaria porque, en definitiva, la manifestación del alma era el movimiento. Él sustentaba en gran parte el asiento de la interacción alma-cerebro.

Esta es una posible, pero no necesaria secuencia. No necesaria porque puede perfectamente desencadenarse, sin que medie la acción de la voluntad, una acción del programa. Si hay respuesta inmediata a un estímulo, no tenemos la mediación de la AMS y la pre-AMS, pero, en cambio, siempre existe la mediación de la corteza premotora. Ahora bien, si usted decide patear un penal, allí sí tenemos la mediación del área motora suplementaria sin respuesta a un estímulo; o bien puede suceder que entre el estímulo y el inicio de la acción exista una cantidad de tiempo, como por ejemplo, el silbatazo del árbitro a partir del cual se puede iniciar la acción.

Entonces: área premotora para la programación y APMS para el inicio de la acción y la ejecución. Existen otros sectores de la corteza frontal que también activan la vía corticoespinal (no solamente la MP1) aunque no con el mismo rol protagónico que la MP1. Esto sería algo muy interesante para estudiar e investigar: ¿de dónde podrían salir los datos que permiten activar las vías corticoespinales y llegar a activar el sistema motor, si no es de la MP1?

La AMS puede intervenir cuando la decisión de iniciar el movimiento no es crucial; cuando se responde al movimiento inmediatamente sin decidir desenvolverlo prácticamente. El cerebelo puede actuar con el objetivo de activar nuevos programas motores sobre el programa inicial, como por ejemplo, generando una determinada acción para mantenernos parados. Este órgano puede corregir el programa o, si es necesario, cambiarlo. Corregir la parametrización del engrama tarda en el orden de los 400 a los 600 milisegundos; para cambiar el programa inicial, el tiempo es mayor y este se encuentra por encima de los 800 milisegundos.

Una vez parametrizado un engrama, cuando el movimiento ya está armado, se dirige a la MP1. También se dirige al **cerebelo**, el cual ya sabe que se va a ejecutar y realiza los ajustes necesarios antes, durante y después del movimiento. Los **ganglios de la base** reciben una copia del programa y activan el sistema motor gamma para generar el tono óptimo que le dé sustento a la acción. El **centro accumbens** refuerza el circuito con dopamina, es decir, sensibiliza la membrana pos-sináptica y facilita la activación, por lo que tiene deseo de repetir el movimiento.

¿Qué pone en marcha el programa?

Al programa lo ponen en marcha dos subsistemas: uno involucra al área motora suplementaria, pre-área motora suplementaria y ganglios de la base y el otro, una conexión directa entre lóbulo parietal y la corteza premotora. Este tema acredita toda la atención, siendo antropológicamente muy profundo.

¿Cómo se comunica el programa? Es otro problema. Una vez que el AMS decide poner en marcha el programa motor, es necesario que exista una conectividad entre el área 6 y área 4, para que se desenvuelva el programa seleccionado. Debe haber conexión entre el área 6 y 4 a través de los **plexos de asociación**, para que, finalmente, la secuencia preestablecida por el área 6 vaya activando las piramidales de la área 4.

- **Área 6**: es programática.
- **Área 4**: desenvuelve el programa.
- **Área motora suplementaria**: veta o permite que el programa se desenvuelva (depende de la secreción hormonal influenciada por el núcleo accumbens). El cerebelo, los ganglios de la base y accumbens regulan el proceso.

La acción refleja no acredita la participación cortical (aunque toda acción refleja puede ser objeto de conocimiento para la conciencia) pero acredita un circuito en el cual no intervienen las estructuras corticales de la toma de decisiones; sin embargo, supone una complejidad sinérgica, por eso nos oponemos al concepto de reflejo, entendiéndolo como una respuesta sencilla a un estímulo que acredita, por dar un ejemplo, la inhibición del antagonista.

Consideramos que un reflejo es mucho más complejo que sacar la mano cuando me estoy quemando. La acción refleja, en definitiva, permite una calibración final de la puesta de escena del movimiento; es el ajuste final, la puesta a punto.

Los micromovimientos que se producen en el **entrenamiento inestable** van ajustando la parametrización del programa. En el caso de tener que cambiar el programa porque nos caemos; entonces, al caernos, se debe realizar otra acción que supone cambiar. Ahora bien, mientras dura esto, existe una permanente recalibración de la parametrización del programa

sobre la base de información propioceptiva que se obtiene durante la acción. Si persistimos en los mismos protagonistas mientras caemos y no usamos otros, efectivamente caemos. El cerebelo puede actuar a efectos de lograr el objetivo, que es precisamente no caerse; en suma, actúa para activar nuevos programas. De ese modo, sobre la base del programa inicial, el cerebelo puede generar una determinada acción para mantenerte parado.

La repercusión metodológica de estos supuestos está relacionada con los conceptos de *calidad por sobre cantidad*. Con esto se quiere decir que no se busca realizar una actividad hasta finalizarla a pesar de existir fatiga; sino que por el contrario se intenta realizar muchas veces nuestra mejor versión. Cuando tal versión comienza a fallar por cualquier motivo, la misma debe finalizarse. En resistencia, el método intermitente busca escaparle a la fatiga con pausas para poder realizar la mejor versión mucha cantidad de veces. Esto supone alternar, por cuanto, escaparle a la fatiga no es otra cosa que entrenar la parametrización de un gesto motor de forma variada, con distintos protagonistas; así, cuando unos se fatigan, otros se ponen en marcha para cumplir el objetivo.