



REVISTA CUBANA DE MEDICINA DEL DEPORTE Y LA CULTURA FÍSICA

Versión On-line ISSN 1728-922X

VOLUMEN 13, NÚMERO 3, La Habana, septiembre-diciembre, 2018

Artículo de Revisión

Título: La neurociencia y el deporte.

Title: Neuroscience and Sport.

Hernández Mesa Nibaldo*

* Dr. Ciencias Médicas. Universidad de Ciencias Médicas de la Habana. Presidente de la Sociedad de Neurociencias de Cuba.

E-mail: nivaldomesa@gmail.com

Tema objeto de Conferencia Magistral en Simposio Internacional de Medicina y Ciencias Aplicadas al Deporte CIENMEDE 2018. La Habana, Nov. 2018.

Recibido: 30 de Diciembre de 2018

Aprobado: 2 de Enero de 2019

Resumen

La Neurociencia puede contribuir a enfrentar los problemas del deporte moderno y de la educación física. Entrenadores y atletas que conocen los nuevos descubrimientos e hipótesis de las ciencias del cerebro podrían desarrollar entrenamientos más eficaces y actuaciones deportivas exitosas. El grupo de conocimientos de la Neurociencia que pueden aplicarse al deporte y la educación física se sintetiza en: *Homeostasis-Estrés-Alostasis, Cerebro Triúnico, Especialización hemisférica, Células en espejo, Células en huso, células de lugar y wifi del hipocampo y Neuroplasticidad*. Tales descubrimientos serán útiles para la adquisición de aprendizajes eficaces de los hábitos deportivos, promoción de la salud y para evitar el doping y otros desafíos de la salud de los atletas.

Palabras claves: Neurociencia, Alostasis, Cerebro triúnico, Especialización hemisférica, Neuroplasticidad

Abstract

Neuroscience can contribute to face the problems of modern sport and physical education. Coaches and athletes who know the new discoveries and main hypotheses of Brain Sciences would be able to perform correct training procedures and performances that are more successful. *Homeostasis-Stress-Allostasis, Triunic brain, Hemispheric specialization, Mirror neurons, Fusiform cells, Place and Wi-Fi cells of the hippocampus and Neuroplasticity* conform the bulk of neuroscience knowledge which could be applied to modern sport and physical education. These discoveries shall be useful to acquire an appropriate learning of sport habits, promoting health and avoid doping and other menaces of health in athletes.

Key words: Neuroscience, Allostasis, Triunic brain, Hemispheric specialization, Neuroplasticity

Introducción

Deporte-Neurociencia significa una interacción biunívoca entre dos componentes, el Deporte y la Neurociencia.

Esto indica en primer lugar que los problemas que enfrenta actualmente el deporte, una actividad social que ha existido desde la antigüedad, hoy se hacen más complejos que en otros tiempos pero se pueden atender ahora desde la óptica de la Neurociencia, una transdisciplina con tan solo 50 años de existencia. Desde la otra mirada alterna, la Neurociencia en su desarrollo vertiginoso puede recibir aportes directos desde la actividad deportiva.

Sin una separación nítida entre las dos miradas en la conferencia se discutirán los problemas que enfrenta el deporte y como la Neurociencia puede contribuir con su solución. Se presentarán los descubrimientos de la Neurociencia en los que el ejercicio físico contribuye a la conformación de hipótesis tentativas. Se espera que los presentes realicen sus aportes y que de conjunto se lleguen a ideas de cómo la colaboración entre los trabajadores científicos de la cultura física y el deporte en general con los neurocientíficos puede ser más eficaz y mutuamente beneficiosa.

I. El deporte

Se invierte la secuencia del título debido a que lo más importante para este binomio es la solución de los problemas que nos plantea a todos el deporte moderno.

I.1 La actividad física y el deporte

El **deporte** es una **actividad física** típicamente humana relacionada con las demás actividades físicas como son los **reflejos**, **movimientos voluntarios**, la **locomoción**, que constituyen actividades físicas imprescindibles para la vida en un medio en que los animales requieren de moverse de un sitio a otro para escapar o buscar alimento o pareja. En el reino animal muchas especies como los chimpancés desarrollan la actividad física del juego aprendida por imitación. El juego es una actividad socializada con propósito de disfrute, de encontrarse y prepararse para la adultez. En nuestros niños resulta vital para su desarrollo general y para el neurodesarrollo. La promoción de juegos de niños y la eliminación de barreras forma parte de nuestro movimiento social en el sentido

amplio y en el sentido estrecho lo es también del INDER. Luego existen actividades físicas basadas en la locomoción como el senderismo en las que el disfrute y la satisfacción de ambiciones sanas culturales o religiosas son el motivo principal. Entre las variantes están los que siguen el camino de Santiago que incluye a laicos o cristianos, los musulmanes que se dirigen a la Meca o en nuestro país, los que caminan hasta el Rincón o el Cobre cada año en procesiones o individualmente cumpliendo promesas.

En la sociedad humana actual muchos países desarrollan en las escuelas una actividad física participativa para todos los estudiantes denominada **educación física**. Esta actividad contribuye con el desarrollo físico e intelectual de los niños y jóvenes. Muchos después continúan habituados y prosiguen a lo largo de su vida realizando ejercicios físicos con el objetivo de promover salud, prevenir enfermedades, buscando disfrute o creatividad. En nuestro medio, aunque no todos, muchos ancianos en su mayoría mujeres, practican a diario calistenia, Taichí, Chi Kun, etc. que cada vez son más populares.

La **educación física** es antecedente del deporte actual pero se diferencia de este en que la esencia no es ganar la competición sino desarrollar integralmente al individuo.

El ejercicio físico es la actividad física humanizada pues tiene como objetivo lograr la forma física óptima de los practicantes y en los atletas se manifiesta con la forma en su óptimo de supercompensación¹.

La educación física floreció en Grecia y Roma. Juvenal (1) creador de sátiras nos legó frases famosas como la de “Pan y Circo” con lo que se reflejaba la práctica deportiva de entonces en el coliseo romano como elemento de manipulación de varios emperadores. También se distingue en la actualidad en el fanatismo que se visualiza en muchos estadios con el fútbol y otros deportes donde las ansias de ganar a cualquier precio son las predominantes y las emociones de envidia, tristeza, alegría dependen de ganar y nunca de participar disfrutando. Generalmente los que triunfan sonríen y los que pierden sufren y lloran mientras

los menos que son los más desarrollados, se marchan felices recordando las artes de los atletas durante el juego con independencia del resultado. Para ganar los fanáticos aceptan todo acto de su bando preferido, lo que en ocasiones incluye trampas y hasta el daño físico fraudulento a los atletas del equipo contrario. En los espectáculos culturales por contrario se aplaude la excelencia y venga de quien venga, solo se rechaza el kitsch o la chapucería.

Juvenal nos legó también una segunda frase que resalta la educación física: “Mens sana in corpore sano”. El deporte moderno siguiendo a Juvenal debería alejarse de circo y acercarse más a la esencia de esta segunda frase para producir siempre beneficio y nunca daño, cumpliendo el principio ético de *Primum non Nocere* (2).

El deporte es una actividad física surgida en la sociedad humana que puede comprenderse como subconjunto de la educación física participativa general. Puede plantearse en secuencia entonces que se está hablando de un conjunto general la actividad física, con un subconjunto el ejercicio, que es una actividad física pero planificada conscientemente para lograr la forma física. El ejercicio contiene a las actividades de la educación física y esta a su vez contiene al deporte y no a la inversa.

1.2 El origen del deporte

En cuanto al origen del deporte, se estima que surgió en la sociedad en la medida que esta se desarrollaba en las distintas regiones del mundo y no sólo en Grecia y Roma. Ejemplo son los juegos de batos o pelota de los aborígenes del continente americano que hasta nuestros tainos-siboneyes-guanahatabeyes, entre los más atrasados de América lo practicaron. En este orden de ideas la actividad deportiva surgió como prima hermana de la música-danza que reunía a las tribus y comunicaban así emociones que promovían emociones diversas quizá en la época que los humanos inventaron la agricultura y pudieron establecerse largo tiempo en una zona. Tanto la música-danza como el deporte y a veces integradas brindaban sosiego y felicidad en un mundo difícil para todos.

I.3. El deporte de la era moderna

Sin embargo, el deporte que se hace hoy en el mundo es heredero directo del de Grecia y Roma. Hoy constituye una actividad fundamental en todos los países y se le conoce como el deporte de la era moderna.

Su hilo conductor más reciente conduce al origen en la Inglaterra del siglo XIX. Thomas Arnold (3) en Inglaterra y su seguidor en Francia Pierre de Coubertin (4) son las figuras visibles del movimiento deportivo en su origen que se extendió rápidamente al resto del planeta. En ese devenir encontró en Estados Unidos el ambiente más propicio para su crecimiento y desarrollo. Por ello se considera que el deporte actual ha sido un producto desde su origen del desarrollo del capitalismo. En esencia no resulta dañino sino que puede ser beneficioso, si no existen desvíos como se reflejan en el doping, una epidemia inducida por la idea obsesiva de ganancia económica que hace que no se cumpla la aspiración de Coubertin: Lo importante no es ganar sino competir. Se pudiera añadir y disfrutar unidos. Eso lo han logrado algunos atletas de élite que fueron estrellas y reconocieron en sus historias personales que disfrutaban tanto en victoria como en derrota. Entre estos se citan a Leroy Satchel Paige, el lanzador más importante de las ligas negras de beisbol y a Ernie Banks, campo corto de los Cubs de Chicago. Sin embargo, eso no sucede en la mayoría de los atletas y mucho menos en sus seguidores, que se convierten en fanáticos y no en aficionados que disfrutan como si estuvieran en un teatro o en un espectáculo musical, como debe ser la aspiración. El deporte en la actualidad une a multitudes y en el futuro se avizora que será todavía superior en concentraciones de pueblo. Un nuevo saber surgido a fines del siglo XX, la bioética aportando al deporte el lado humano que nunca debió perder por el championismo puede ser la solución del conflicto ganar a toda costa versus competir con ansias de triunfar pero disfrutando en victoria o derrota. Las campañas mediáticas de la prensa lejos de abordar el punto desde la bioética exacerban el championismo despiadado en todos los sitios del mundo, aunque con sus diferencias. Por ejemplo, los alemanes no avanzaron en el último mundial de fútbol y un cubano que visitó Alemania durante en esos días, me contó que

ellos no sufrieron, estaban como los Budistas del aquí y ahora que vencen el sufrimiento por aceptación. Sin embargo, posiblemente aunque no me consta, en Brasil pudieron ocurrir actos desagradables, homologando lo que ocurrió en Colombia tras el autogol del mundial de 1994 que costó la vida a Escobar.

I.4. Los elementos y factores del deporte

El deporte moderno tiene varios protagonistas: el deportista, los entrenadores, los dueños de los equipos o patrocinadores directos, el público compuesto por fanáticos en su mayoría con pocos aficionados que son los que aplauden también en la derrota. Además, el gobierno interactúa con todos los otros factores. Sin olvidar la prensa mediática de los tiempos actuales y los comerciantes que con sus anuncios han provocado el surgimiento de cuantiosas sumas de pago desde la segunda mitad del siglo XX. Cada elemento juega su rol y es lo que ha convertido al deporte en una de las actividades más importantes del mundo actual. Algunas organizaciones como el COI, FIBA, NBA, MLB y MLF tienen más recursos económicos que muchos países del mundo. Cada deporte tiene sus características y son complejas como las actuaciones en atletismo, natación, gimnasia, etc. mostrando habilidades físicas y mentales de los deportistas que el público considera como difíciles de ejecutar y que por tanto admira, atiende, disfruta o sufre según la empatía con el atleta. Otro tanto sucede con los deportes con pelotas individuales o de equipo en las que el público se siente atraído adictivamente a las actuaciones.

I.5. Los problemas del deporte moderno

Como se ha indicado el deporte es una actividad exitosa en nuestro tiempo. No obstante, presenta dificultades que han de atenderse para que continúe adelante por el camino más provechoso para la humanidad. Muchos de los problemas a solucionar están siendo investigados pero sin solución definitiva. Se listan entre otros:

1. ¿Cómo se adquieren con mayor eficacia y rapidez las habilidades del deporte?

2. ¿Cuáles son las características antropométricas óptimas del futuro deportista?
3. ¿Cuáles son las características fisiológicas y psicológicas óptimas para el deporte y la competencia?
4. ¿Cómo entrenar los hábitos y habilidades del deporte?
5. ¿Cómo debe ser la nutrición en el entrenamiento y competencia?
6. ¿Cómo debe ser el dormir y sueño de los deportistas?
7. ¿Cómo se pueden afrontar los estresores del entrenamiento y de la competencia?
8. ¿Cómo desarrollar el liderazgo eficaz de los entrenadores y directores?
9. ¿Cómo desarrollar la inteligencia emocional de atletas y dirigentes?
10. ¿Cómo descubrir y desarrollar a los atletas líderes en deportes de equipos?
11. ¿Cómo aprovechar en la competencia las serendipitis y afrontar las zemblanitis?
12. ¿Cómo prevenir y combatir la fatiga?
13. ¿Cómo prevenir y atender las lesiones especialmente del cráneo?
14. ¿Cómo lograr una atención plena en el entrenamiento y competencia?
15. ¿Cómo rehabilitar las lesiones con eficacia y rapidez?
16. ¿Cómo mejorar la salud de los atletas y entrenadores?
17. ¿Cómo prevenir y tratar el sobrentrenamiento?
18. ¿Cómo definir en cada atleta y como lograr la supercompensación?
19. ¿Cómo desarrollar en los atletas y entrenadores una conciencia antidoping?
20. ¿Cómo utilizar el deporte para mejorar la salud de las personas en general?

21. ¿Cómo utilizar el deporte para mejorar la cognición de los estudiantes?
22. ¿Cómo utilizar el deporte en la rehabilitación de enfermos cerebrovasculares?
23. ¿Cómo utilizar el deporte en la atención a niños autistas?
24. ¿Cómo incrementar la participación de los ciudadanos en el deporte?
25. ¿Cómo lograr autofinanciamiento en el deporte?
26. ¿Cómo contribuir con el deporte a la atención de personas con trastorno bipolar?
27. ¿Cómo contribuir con el deporte con la lucha contra la agresividad?
28. ¿Cómo organizar el desentrenamiento eficaz de los atletas de alto rendimiento?
29. ¿Cómo incrementar la creatividad con el ejercicio?
30. ¿Cómo eliminar el doping y prevenir la encefalopatía post traumática?

En muchos de los problemas sugeridos la Neurociencia puede contribuir con la solución o reflexión mediante investigaciones. Se pueden añadir problemas, suprimir los que no resulten ciertos o integrar varios de ellos. Luego se debieran someter a esclarecimiento y realizar búsquedas en la literatura dirigidas en lo esencial a Meta-análisis con trabajos aleatorizados. En secuencia, proyectar investigaciones para tratar de encontrar soluciones.

II. La Neurociencia

II.1. Definición de Neurociencia.

La Neurociencia (5) es un nuevo saber surgido a fines del siglo XX. Tiene como objeto de estudio el sistema nervioso y el cerebro. No es una nueva disciplina que sustituye a las ciencias del cerebro que mantienen su vigencia. La Neurofisiología, la Neuroanatomía, la Neurohistología, la Neuroembriología, la Neuroinmunología,

la Neurobiología y la Neuroquímica ceden sus métodos y técnicas a la Neurociencia.

También disciplinas clínicas como la Neurología, la Neurocirugía, la Neuropsicología y la Psiquiatría hacen otro tanto. La Neurociencia es entonces una transdisciplina surgida en la segunda mitad del siglo XX debido al desarrollo de las disciplinas particulares y a dos factores integrados que han posibilitado el estudio del cerebro in vivo:

- a) el desarrollo de la Neuroimagenología y
- b) el surgimiento de la Neuroinformática y las Neurociencias computacionales.

La Neurociencia hace posible procesar la información en proporciones inimaginables por los padres precursores de la Neurociencia como Cajal (6). La nueva creación ha reforzado conocimientos e hipótesis tradicionales y descubrimientos importantes sobre el cerebro y para muchas actividades humanas. Entre estos elementos se listan las mas vinculadas con las ciencias del deporte y la cultura física:

- Estrés –Homeostasis –Allostasis.
- Los tres cerebros en uno
- Especialización Hemisférica
- Neuronas en espejo-huso-wi-fi
- Neuroplasticidad

El conocimiento de estos cinco temas de la Neurociencia por entrenadores, deportistas y aficionados puede contribuir a la realización mejor del deporte y a proteger al deportista de lesiones, fatiga, sobrentrenamiento y trastornos emocionales que pueden ser severos.

II.2. Medio Interno-Estrés-Homeostasis-Allostasis en el deporte

Este conocimiento se remonta al concepto de Medio Interno de Claude Bernard (7) que resumió en síntesis con la homología entre la estabilidad del medio interno en

que existen nuestras células y tejidos con la salud humana. Los parámetros del medio interno tienen un rango de normalidad. Por ejemplo: el pH, la temperatura, las concentraciones de sustancias como la glucosa, el sodio, potasio, etc. El concepto de medio interno de Bernard² marcó la adultez de la Fisiología experimental. Rápidamente, este concepto devino en la elaboración por Walter Cannon (8) del concepto de Homeostasis. Cannon entendía la homeostasis como un continuo del equilibrio del medio interno. Los mecanismos de estímulo respuesta ($E \rightarrow R$) y las retroalimentaciones generalmente negativas logran mantener el equilibrio del medio interno. Se consideraba por tanto seguidor de la idea original de Bernard. Para Cannon la homeostasis palabra obtenida del griego antiguo significaba los mecanismos que logran mantener el medio interno en límites de la salud. Por ejemplo los niveles de glucosa que ayudan al diagnóstico de Diabetes. Pero Cannon continuando el sendero de Bernard propuso la existencia en todos nosotros de una respuesta característica ante los estímulos que desafían los mecanismos homeostáticos. La denominó como “fight or fly response” que se traduce como respuesta de ataca o escapa. Un estudiante de la Universidad Carolina de Praga influido por Bernard y Cannon elaboró mediante una serie de experimentos el concepto de Estrés. La palabra la obtuvo de la física de los metales de Robert Hook. Hans Selye (9) entendía el estrés como la reacción del organismo ante estímulos que desafiaban la homeostasis. Esta reacción podía tener 3 etapas: alarma, adaptación y agotamiento. Para Selye el estrés que resolvía la situación en la alarma era un tipo de estrés positivo al que llamó eustrés, mientras que los que pasaban a adaptación ya eran negativos para la salud y los denominó como distrés. Finalmente la fase de agotamiento conducía a la enfermedad o muerte³. Esta idea era aplicada a todas las causas de estrés (estresores) y se concebía como respuesta global no específica. Hoy se conoce que tiene componentes inespecíficos pero existen otros como la respuesta del sistema inmune que dependen del estímulo. Finalmente a fines del siglo XX, poco después del nacimiento de la Neurociencia, surgió la hipótesis de la **Alostasis**. Sterling-Ayer-McEweny seguidores⁴⁻⁷ propusieron en 1988 y los años subsiguientes, la hipótesis de la **Alostasis** y la carga alostática como una

actividad constante del sistema nervioso que logra la estabilidad del medio interno dinámicamente y no mediante respuestas a estímulos. Por ello contempla la actividad de pre-alimentaciones (feedforward). Estas acciones están programadas y tienen un elevado valor adaptativo. Regiones del cerebro las integran. Son más activas durante el estrés sostenido. Por ello se define la carga alostática que indica normalidad o no. En ese orden la alostasis también palabra griega indica el logro de la estabilidad mediante la actividad y no pasivamente como la respuesta de estrés. Resumiendo tenemos primero el equilibrio del Medio interno (Bernard), los mecanismos para lograrlo la homeostasis de Cannon, la respuesta de Estrés ante estresores de Selye y la **Alostasis** y Carga alostática de Sterling-Ayer-McEwen que explica el daño del estrés sostenido.

Esta teoría de conjunto se aplica al deporte. La carga del alto rendimiento es un estímulo de estrés tan potente que el deportista continuamente ha de regular su nutrición y mantener el ciclo de descanso y sueño priorizado con vistas a priorizar su recuperación, mejorando el rendimiento y previniendo el sobrentrenamiento el enemigo del rendimiento deportivo y que además abre la puerta a trastornos severos nerviosos, sexuales, musculares, tendones y de otros órganos. Con registros permanentes de la frecuencia cardiaca en reposo y de la variabilidad de la frecuencia cardiaca se puede predecir el puente entre el buen rendimiento de un entrenamiento y el estado de sobrentrenamiento al que llegan los deportistas por varios caminos pero uno muy frecuente es el del entusiasmo excesivo de atletas o entrenadores por alcanzar la Supercompensación que los lleve a obtener metas y ganar competencias. Mediciones por otro lado de la carga alostática pueden ser muy efectivas también.

II.3. Los tres cerebros en el deporte

Esta hipótesis tentativa del funcionamiento vertical del nuestro cerebro fue elaborada en los 50 del siglo pasado por Paul MacLean (10). MacLean además dio nombre de sistema límbico al controlador de emociones.

En su quehacer obtuvo datos y conjeturas que lo llevaron a subdividir el cerebro humano en tres subdivisiones que interactúan, el cerebro triúnico⁸⁻¹⁰.

El cerebro automático o cerebro reptil pues los reptiles realizan solo ciertas acciones: comer, dormir y procrear. El cerebro reptil de MacLean es la parte más antigua con instintos básicos de supervivencia. El cerebelo controlador de actos motores, el hipotálamo centro homeostático donde se integra la respuesta de estrés y el tronco cerebral son componentes activos le cerebro automático de los humanos.

El cerebro emocional encargado de emociones, de integrar emociones de miedo, tristeza, ira, alegría (emociones primarias) y de las secundarias más complejas (amor, felicidad, paz) es una región del cerebro que no desarrollaron los reptiles y que surge en mamíferos. El sistema límbico al que pertenecen regiones del cerebro como la ínsula, la corteza cingulada y la región prefrontal así como núcleos subcorticales: amígdala, hipocampo, accumbens.

El cerebro cognitivo con los dos hemisferios funcionando coordinadamente en el logro de la conciencia, atención, percepción, lenguaje, pensamientos, memoria que distinguen a los humanos.

La hipótesis tentativa de MacLean es una tesis filogenética que ha sido exagerada pero conserva elementos de ciencia constituida con evidencia que pueden utilizarse en el deporte.

El deportista de alto rendimiento debe adquirir hábitos y habilidades motoras muy complejos y automáticos para la competición. Los aprendizajes motores comienzan por enseñanzas donde la cognición de los dos hemisferios es importante. No obstante, a medida que se establecen los hábitos es el cerebro automático el que juega el rol principal. Para ello se deberá entrenar periódicamente aunque eso no basta y ciertas condiciones naturales como el nivel de inteligencia motora del atleta le permite dar el salto de la pertiguista que implanta record. Por otro lado el conocimiento de la interacción armónica que debe existir entre cerebro cognitivo (hemisferios), cerebro emocional (sistema límbico) y

cerebro automático o reptil (cerebelo, hipotálamo y mesencéfalo) es necesario para frenar adicciones alimenticias en el deportista que muchas veces requiere de un control de su peso corporal. Se pueden realizar ejercicios dirigidos a equilibrar los tres cerebros que en los deportistas pueden apoyar la adquisición de habilidades.

II.4. Especialización hemisférica en el deporte.

Los descubrimientos accidentales de pacientes operados de epilepsia a los que se les seccionó el cuerpo caloso, permitieron la solución de un problema que tenía varios siglos de historia, el de la lateralización de las funciones y de la estructura del sistema nervioso y del cerebro. Los sujetos que son derechos o zurdos en la preferencia dominancia manual, pedal, auditiva, visual, se conoce bien que tienen especialización hemisférica derecha (cerebro intuitivo, sintético, que trabaja en paralelo, en el presente siempre) e izquierda (en serie, analítica, racional, del pasado al futuro). Este descubrimiento de los años 60 logró en 1981 que Roger Wocott Sperry (11) alcanzara el Premio Nobel de Fisiología o Medicina. Este premio bien merecido ha potenciado muchas actividades en la salud, educación, las artes y el deporte en las que se aplica aunque todavía insuficientemente.

La especialización de los hemisferios cerebrales¹¹⁻¹³ es crucial para la intuición del atleta que muchas veces tiene que tomar decisiones con pocos elementos y debe por tanto saber escuchar a su nivel inconsciente relacionado con el hemisferio diestro. Por ello el conocimiento del nivel de dominancia hemisférica cobra importancia para entrenadores y atletas.

Por otro lado existe una relación entre la lateralidad manual y la del hemisferio cuestión que en algunos deportes brinda al ambidextro ciertas ventajas. Se deben realizar ejercicios dirigidos al equilibrio de los dos hemisferios.

II.5. Circuitos de neuronas especiales en el deporte

La Neurociencia, que en 2019 tendrá su 40 Aniversario, ha permitido solucionar conflictos con una historia muy antigua. El problema de la localización de

funciones superiores que los egipcios y griegos antiguos atribuyeron al corazón. Incluso Aristóteles especulaba que se pensaba con este órgano y no con el cerebro. Con Galeno se abrió el camino de la experimentación que devino, a fines del siglo XVIII, con la idea de la localización en el cerebro de las funciones superiores.

Paul Broca (12) y Karl Wernicke (13) al descubrir en el hemisferio izquierdo¹⁴ las regiones del lenguaje hablado y su comprensión, respectivamente, dieron un impulso a la localización de funciones. No obstante en el siglo XX aparecieron ejemplos de funciones complejas como la conciencia, que no tienen una ubicación especial en el cerebro. La concepción vigente de la Neurociencia es que existen funciones sensoriales y motoras con localización, pero incluso en estas lo relevante son las conexiones funcionales que se pueden detectar por imágenes en el hombre en acción y en tiempo presente.

Por otro lado se conoce desde Cajal la importancia de las neuronas (6)¹¹ en el cerebro humano solamente y de sus conexiones (6)¹⁵ sinápticas para el funcionamiento del cerebro, del sistema nervioso y del organismo en su totalidad.

En ese devenir se han descubierto grupos neuronales de importancia singular que forman un cuadro inesperado:

(a) **Neuronas en espejo.** Fueron descubiertas por Serendipity en Italia por el grupo de Rizzolatti¹⁵⁻¹⁷ a inicios de 1990. Estas neuronas responden a acciones de otras personas ante estímulos y también a la presentación ante nosotros de los mismos estímulos. Se sugiere ser la base de la empatía, de la adquisición por imitación del lenguaje humano y de actividades motoras como la marcha. Se sugiere que sus circuitos tienen escaso desarrollo en niños autistas. Parecen tener que ver con el contagio de la risa y el bostezo.

(b) **Neuronas en huso.** Fueron descubiertas en 1929 por Von Economo (14) y solo se presentan en humanos¹⁸, ballenas¹⁹ y en primates²⁰ no humanos. Sus conexiones con neuronas en espejo sugieren una relación de estas neuronas en la empatía de sujetos que conlleva al liderazgo de unos en relación con otros.

(c) **Neuronas de posición.** Descubiertas por John O'Keefe en el hipocampo permiten reconocer el espacio en que nos movemos²¹.

(d) **Neuronas en rejilla.** Neuronas wi-fi conectadas con las neuronas de posición integran el espacio. Descubiertas en la corteza entorrinal por los esposos Mosser²², Premio Nobel 2014 junto a O'Keefe.

(e) **Neuronas border**, head direction, speed. Neuronas de la corteza entorrinal que conectan con las neuronas en rejilla²³.

La neurona en espejo está implicada en los aprendizajes por imitación y la empatía entre los sujetos. Para el aprendizaje de un deporte son cruciales. Aunque todavía no existen técnicas que permitan controlar in vivo la actividad de esos grupos neuronales, el conocimiento de que están activadas en el contagio de la risa o el bostezo, permite suponer su actividad en la relación atleta-coach-entrenador o en la relación de liderazgo entre los atletas de un equipo en deportes colectivos.

Otras neuronas importantes que parecen tener relación con las células espejo son las neuronas fusiformes.

Recientemente se han descubierto dos grupos neuronas en hipocampo implicadas en la posición en el espacio y la localización dinámica. En actividades como la gimnasia, la pértiga, el alpinismo y el clavado serían relevantes. Se sugiere que cuando estas neuronas se alteran o se pierden, se dificulta la memoria, como ocurre en sujetos con Alzheimer.

Se puede sugerir también que los circuitos bien establecidos entre la corteza entorrinal y el hipocampo son cruciales en todos los deportes que tienen que ver con la localización espacial.

II.6 La neuroplasticidad en el deporte.

“En los cerebros adultos las vías nerviosas son algo fijo, inmutable. Todo puede morir, nada puede regenerarse. Corresponde a la ciencia del futuro, cambiar si es posible, este cruel decreto.” Santiago Ramón y Cajal.

La Neuroplasticidad es el descubrimiento más importante de la Neurociencia.

En la época en la que Cajal formuló el dogma de la inmutabilidad basado en sus observaciones, William James (15), padre de la Psicología en Estados Unidos, especulaba acerca de la posibilidad de modificar el cerebro adulto por la experiencia.

En el campo de la Psicología, Vigotski (16) propuso el principio especulativo de desarrollo cercano que permite el aprendizaje. Pavlov (17), Konorski (18) y Skinner (19) se opusieron al dogma con el modelo de aprendizaje clásico y operacional o instrumental.

El dogma continuaba pero en los 50 Donald Hebb (21), discípulo de Karl Lashley (22) demostró que neuronas que trabajan juntas se cablean juntas²⁴. Era el mecanismo neuronal subyacente en el fondo de los aprendizajes clásico e instrumental.

Hebb dio un paso que tuvo su efecto en 1967 con el descubrimiento de neurogénesis en hipocampo adulto por Joseph Altman (23). También en los resultados de Fernando Nottebohm (24) de regeneración adulta de neuronas estudiando el canto de canarios a fines de 1970.

En los 70 también se descubrieron mecanismos de plasticidad funcional sináptica en la línea de Hebb. La potenciación duradera (LTP) de Lomo y Bliss (23) en hipocampo y la depresión duradera (LTD) de Masao Ito permitieron explicar muchas interrogantes de la memoria en los aprendizajes

En paralelo con estos trabajos experimentales, los resultados en la restauración neurológica de Paul Bach y Rita (24) eran suficientes para seguir buscando neuroplasticidad. En línea similar Edward Taub encontró recuperación de

pacientes paralizados en las extremidades restringiendo la extremidad sana en la rehabilitación de pacientes^{25,26}.

No obstante esos resultados, el dogma continuaba y se afianzaba. Fue entonces que a fines de los 80 la joven Elizabeth Gould encontró neurogénesis en hipocampo de animales adultos.

Fue similar al descubrimiento de Altman pero con técnicas diferentes que permitían una reproducción de resultados de plasticidad²⁷⁻³¹.

Se han logrado resultados similares y el dogma de inmutabilidad ha sido derrotado, salvo en las mentes de muchos especialistas que a veces irresponsablemente, provocan en enfermos que pueden recuperarse, depresión y disminución de la motivación. Hay ejemplos como el de Jill Bolte Taylor (26) que muestran como el enfermo que conoce de la neuroplasticidad puede contribuir a recuperarse de lesiones severas de los hemisferios cerebrales. Los ejercicios físicos realizados por Jill Bolte Taylor y la motivación de hacerlos buscando neuroplasticidad, significaron su recuperación total en ocho años de su lesión original del hemisferio izquierdo ocurrida en 1996.

Eso es real en el campo de la Neurología, pero también puede lograrse en el futuro en las enfermedades mentales, cuando se logre domar el potro salvaje de la neuroplasticidad.

En el deporte los entrenadores y deportistas aplican y conocen de la existencia de neuroplasticidad. No obstante, las características hereditarias, el entrenamiento deportivo logra aprendizajes notables aun en los menos dotados originalmente. Eso se debe a que existe plasticidad. Cuando no hay muchas diferencias de inicio en los atletas, el resultado final dependerá del esfuerzo motivado durante el entrenamiento, debido a la neuroplasticidad. Algunos resultados recientes muestran como la actividad física es un potente estimulante de neuroplasticidad³²⁻³⁴.

La neuroplasticidad fue demostrada hace casi 30 años y se rompió el dogma de la

inmutabilidad del sistema nervioso. Los aprendizajes motores de los hábitos y habilidades deportivas no serían posibles si el sistema nervioso no tuviera cambios prácticos productos de la experiencia. La neuroplasticidad es positiva cuando se entrena y negativa si se pierden conexiones cuando se vive sedentario. Ha sido una buena noticia para los lesionados por embolia, trombosis o hemorragia cerebral que después de la recuperación pueden rehabilitarse y formar nuevas conexiones.

III. La Neurociencia del deporte

La joven neurociencia ha conformado varias Interdisciplinas desde su nacimiento. Una de las más relevantes es la que conforma con el deporte en conjunto con el entrenamiento. Existen además vínculos directos con algunos deportes. Se puede hablar ahora del neurofútbol y del neurobéisbol. El neurofútbol aplica la neuroplasticidad con ejercicios especiales que permiten ampliar el campo visual de los futbolistas, habilidad necesaria para distinguir espacios vacíos por donde puedan ubicarse los pases. En el neurobéisbol se aplican conocimientos de respuestas inconscientes ante una pelota lanzada a 90 millas por hora que llega 60 m/seg más rápido al homeplate que el tiempo calculado para tener la percepción visual de la pelota. Luego el bateo ha de hacerse siguiendo otras pistas que pueden analizarse en laboratorios de Neurofisiología con simulaciones.

III.1. La salud del deportista

Seguir la segunda frase de Juvenal garantiza en los practicantes de ejercicios que incluye a los atletas, la salud de todos y un neurodesarrollo desde la niñez y envejecimiento satisfactorio.

También se prevén problemas severos como la encefalopatía crónica traumática.

La encefalopatía crónica traumática CTE en inglés; ECT, español es una enfermedad neurodegenerativa en personas con múltiples lesiones de cráneo³⁵⁻³⁷. Los síntomas pueden incluir trastornos conductuales, del estado de ánimo y del pensamiento. Típicamente los síntomas comienzan años después. Generalmente

empeoran y pueden acabar en demencia. En el boxeo profesional se hizo el primer reporte³⁵. Al principio se pensaba que sólo el boxeo estaba implicado. No obstante, se ha encontrado en atletas de deportes de contacto como fútbol americano, lucha, hockey sobre hielo, rugby y soccer. En el béisbol a veces los golpes con la pelota alcanzan la cabeza y muchos jugadores estoicos continúan jugando y se escucha a los comentaristas como estimulan por desconocimiento irresponsable, la valentía del deportista. La actitud de entrenadores y periodistas debe ser la opuesta y es la de retirar al atleta e investigarlo de inmediato lo que puede tal vez salvarle la vida o evitar la ECT. Se pueden realizar en el presente pruebas con técnicas que pueden hacer tratable el trastorno mientras que el atleta vive³⁸⁻⁴². Se desconoce la cantidad de traumas requeridos y eso es importante que se maneje por los entrenadores y atletas.

El 'neurodopaje' es una nueva tendencia en el deporte. Estimula el cerebro para que siga enviando señales de esfuerzo al resto del cuerpo a pesar de la fatiga o para que responda más rápido a los estímulos de la competición. Consiste en estimular las neuronas de diferentes regiones cerebrales para incrementar la resistencia, fuerza aplicada en ciertos deportes. El "Halo sport" promocionado por una compañía con apoyo del "Pato" Johnson, es un casco que posibilita estimular las zonas parietal, occipital, frontal y prefrontal. La Agencia Mundial Antidopaje (AMA) no se ha pronunciado aún.

Consideraciones finales

- ❖ En la historia del deporte de los tiempos modernos atletas y entrenadores se centraban en la adquisición de los patrones motores y la potenciación de los sistemas osteo-mio-articular y cardio-respiratorio.
- ❖ Con el tiempo ha ganado importancia la preparación psicológica y mental. Este hecho evidenciado en la presencia de psicólogos en los equipos ha servido de antecedente a la entrada en la escena del deporte de la Neurociencia, la joven transdisciplina que celebrará próximamente 40 años.
- ❖ La Neurociencia por su enfoque de trabajo sobre el cerebro y sistema nervioso en vivo y a todos los niveles desde las partículas, moléculas y

células hasta la conducta puede darnos información crucial para saber qué ocurre en nuestro cerebro al adquirir una habilidad deportiva, al coordinar grupos musculares, cuando se presenta la emoción de miedo en un instante clave como la hora cero de los lanzadores, bateadores en 3 y 2 o el futbolista que cobrará un penalti. Puede ayudar a medir el nivel de estrés o ansiedad por caminos fisiológicos y no solamente por cuestionarios. También la ansiedad o depresión de los aficionados.

- ❖ En el deporte de alta competición la Neurociencia puede contribuir a entender mejor el rendimiento deportivo, comprender la incidencia de factores como el aprendizaje cognitivo del deporte, integrado en los hemisferios y el sistema límbico, el aprendizaje motor de acrobacias y otras habilidades increíbles y cirqueras integradas en el cerebro automático y reptil. También la importancia del sueño, la motivación, las emociones primarias de alegría, tristeza, miedo o ira, de la motivación, del clima.
- ❖ Los entrenadores que estén familiarizados con la Neurociencia al comprender mejor los procesos mentales humanos, conscientes e inconscientes, pueden guiar mejor a sus deportistas.
- ❖ La tesis de McLean de los tres cerebros brinda al entrenador comprensión de cómo las áreas cerebrales cognitivas de los lóbulos frontales y las regiones límbicas corticales que integran las emociones interactúan en la ejecución de las actividades motoras de los deportes. Cómo esta actividad integrada de los cerebros cognitivo y emocional organiza patrones con el cerebelo, integrante del cerebro reptil automático, para producir secuencias complejas de movimientos en la gimnasia, salto con pértiga y otros deportes.
- ❖ Un conocimiento esencial relacionado con el cerebro emocional que todos, entrenadores y deportistas han de tener en cuenta, es el de los circuitos de la amígdala como integrador de la memoria emocional. Es ciencia constituida desde los descubrimientos de Ledoux sobre el papel de la amígdala en la emoción de miedo. Ledoux comprobó que hay circuitos que conectan las vías visuales y auditivas con la amígdala que son mucho más

rápidos en la conducción de información que las vías sensoriales hacia la corteza cerebral que conforman sensaciones y percepciones. Con tal dato, si un atleta presenta un tipo de fobia ante un acto concreto (penalti, lanzamiento, salto) que ha aprendido mucho antes, no vale la pena detenerse a razonar con el atleta y aconsejarlo. Esto lejos de reducir el temor o darle seguridad, lo incrementará y con ello el fracaso en la acción deportiva.

- ❖ El papel de los aficionados resulta importante por la estimulación en la amígdala de los atletas, provocada por abucheos o aplausos del público. Estudios del cerebro vivo con imágenes ha permitido destacar estrategias de los atletas para enfriar la amígdala controlando la respiración y relajando la respiración, lo que logra disminuir la frecuencia cardiaca, un indicador del nivel simpático-parasimpático del atleta. Los entrenadores ante la sustitución de un atleta, deben tomar en cuenta estas señales fisiológicas que indican indirectamente la actividad de la amígdala.
- ❖ Si en la hora cero del béisbol o del fútbol o del salto del pertiguista, el atleta excesivamente excitado con miedo a fallar, tiene la amígdala y el límbico en general activado, entonces falla su concentración y la coordinación de los gestos deportivos automáticos del cerebro reptil automático.
- ❖ En cuanto a las situaciones complejas de la actividad deportiva, el conocimiento de atletas y entrenadores sobre la especialización hemisférica es importante para hacer ejercicios que logren equilibrar los dos hemisferios. Así aprovecharemos y no resultarán bloqueadas las intuiciones integradas por el hemisferio diestro con los razonamientos lógicos del hemisferio siniestro. Lo primero es detectar el hemisferio dominante para así entrenar el equilibrio pues un atleta donde predomine uno más que el otro tendrá menos éxito. Generalmente los entrenadores por desconocimiento refuerzan mucho más el razonamiento que la intuición.
- ❖ Los conocimientos de la Psicología, reforzados en el presente por la Neurociencia, sirven de sustento al principio de periodicidad del entrenamiento y para el logro de la supercompensación de los atletas.

Como propone la ley de Hebb del cableado de neuronas, el uso repetido de impulsos nerviosos similares refuerza la intensidad de las conexiones y posibilitan que lo practicado con cierta frecuencia e intensidad se incorpore al repertorio motor. Esto es la Neuroplasticidad que desde 1989 se ha convertido en el descubrimiento fundamental de la Neurociencia, pues elimina el dogma de la inmutabilidad del sistema nervioso. Así los atletas pueden mejorar y no empeorar con el entrenamiento bien guiado, dejando una esperanza de progreso hasta a los menos dotados.

- ❖ El conocimiento de neuronas en espejo y en huso por los entrenadores es importante porque son los ejes en los circuitos de la empatía con los atletas para conformar el trabajo en equipo en los deportes de conjunto. Estas neuronas posibilitan la detección de movimientos e intenciones de los observados. El contagio de la risa y bostezo se explica por esta vía. También el espíritu solidario y cooperativo de lucha por el triunfo del equipo. Los circuitos combinados de neuronas en espejo y en huso permiten desarrollar el liderazgo de entrenadores y capitanes de los equipos.
- ❖ Las neuronas de posición y las células en rejilla del hipocampo y de la región entorrinal, explican nuestra localización en el espacio. Estas neuronas se unen en circuitos mediante el entrenamiento sistemático. Por neuroplasticidad se garantiza que logremos una excelente captación del espacio ocupado y vacío, una de las características que tienen algunos atletas de excelencia especialmente en deportes en los que el cuerpo ha de moverse en el espacio como la gimnasia, el salto con pértiga, clavados y alpinismo.
- ❖ *Primum non nocere*. Debe resaltarse los dos tópicos vinculados con la Neurociencia, el neurodopaje y la encefalopatía crónica traumática.
La Neurociencia ha creado también posibilidades de incrementar la actividad deportiva mediante la estimulación de áreas corticales. El casco “Halo sport” es un ejemplo de esto. Permite estimular el cerebro mediante estímulos eléctricos con el objetivo que se incremente el rendimiento deportivo. Los auriculares tienen forma que permite ajustarlo a la zona que

se desea estimular. La corteza parietal estimulada incrementa la resistencia. Buena para atletismo, fútbol, tiro deportivo y tiro con arco. El área motora estimulada aumenta la fuerza y disminuye la fatiga. Excelente para los lanzamientos, pesas, saltos. Estimular la región occipital mejora la atención. Bueno para el tenis, tenis de mesa y tiro olímpico. El área prefrontal estimulada favorece el equilibrio. Bueno para el golf, gimnasia, La encefalopatía crónica traumática (Chronic Traumatic Encephalopathy/ CTE) apareció en un artículo en 1928 en relación con el boxeo. Hoy día se conoce su extensión a otros deportes como el fútbol americano, el hockey sobre hielo, el soccer y el béisbol, estos últimos con cabezazos y pelotazos respectivamente. Los síntomas son problemas conductuales, del estado de ánimo, con los pensamientos. Las complicaciones son demencia, agresividad, depresión y conducta suicida. Se demuestra que el inicio se produce con posterioridad a los primeros traumas que de no ser atendidos, generalmente por despreocupación de atletas y entrenadores, hacen que el atleta continúe en la actividad tras el trauma.

- ❖ Investigaciones translacionales en el deporte. Se requieren para dar solución a los problemas del deporte de la era moderna; se hacen necesarias investigaciones. La estrategia translacional⁴² se sugiere como la apropiada. La ciencia translacional se define como una estrategia basada en tres pilares: *benchside* (laboratorios), *bedside* (estudios clínicos) y *community* (aplicaciones). Los problemas se enfrentan en sentido bidireccional. En el deporte implican las actividades en laboratorios especializados, el trabajo deportivo y su generalización a la sociedad.

CITAS

1. **Juvenal**. Decimus Iunius juvenalis. Poeta romano de la última a parte de la primera centuria y a principios de la segunda. Autor de poemas conocidos como Sátiras y que entrañaban una burla cómica de la sociedad romana. Se supone escribió 16 poemas en varios libros del año 100-101. Se considera sufrió exilio. Detalles exactos de su vida se desconocen. Se le atribuyen frases como: Pan y

Circo y una segunda relacionada con el deporte y la educación física: Mens Sana in Corpore Sano.

2. **Primun non nocere.** Frase que encierra el principio fundamental tanto de la ética occidental y del budismo-hinduismo-jainismo con el Ahimsa (no dañar) que estuvo en el centro de la labor de Mahatma Gandhi. La expresión se atribuye a Hipócrates, padre de la Medicina.

3. **Thomas Arnold.** Thomas Arnold (1795-1842). Educador e historiador que fue director de la escuela de Rugby. A pesar que personalmente no consideraba el deporte como actividad importante, lo vio como una forma de alejar a sus estudiantes de las riñas callejeras asociadas a alcoholismo y otros vicios. Por ello no se opuso al desarrollo de partidos de Rugby que poco a poco fueron atrayendo atletas y aficionados. Ese movimiento se extendió por Inglaterra, Europa y Estados Unidos rápidamente. Pierre de Coubertin visitó su tumba y lo consideró como su precursor.

4. **Pierre de Coubertin.** Pierre de Frédy, Barón de Coubertin (1863-1937). Educador e historiador francés, se le conoce por haber sido el padre fundador de las Olimpiadas de los tiempos modernos; del Comité Olímpico, del que fue su segundo presidente. Popularizó la frase: Lo importante no es ganar sino competir. Se negó al profesionalismo en el deporte.

5. **Neurociencia.** la Neurociencia no es una disciplina particular que estudia el cerebro, sino un nuevo saber con enfoque transdisciplinar, donde las técnicas y métodos de muchas disciplinas se aplica al estudio del sistema nervioso y del cerebro (estructural y funcional en niveles desde las partículas y moléculas hasta la conducta y la sociedad), logra enfrentar los problemas complejos. Estos están vinculados con muchas esferas como la salud, educación, trabajo, las artes y el deporte. La Neurociencia establece Interdisciplinas con muchas actividades. Una de ellas, el Neuro-Deporte tiene muchas aplicaciones en la actualidad.

6. **Santiago Ramón y Cajal** (1852-1934). Padre de la Neurociencia. Descubrió la Sinapsis y estableció la doctrina de la Neurona como unidad estructural, funcional

y de información del Sistema Nervioso. Todas sus investigaciones las realizó al cambiar de vida dejando el boxeo, las pesas, etc., luego de sufrir la malaria varias veces durante la guerra de Cuba, que lo dejó exhausto y debilitado. Entonces sus aptitudes pictóricas y su ingenio lo llevaron a utilizar la técnica de Golgi para descubrir los contactos que el propio Golgi negó siempre, aun al recibir junto a Cajal el Premio Nobel en 1906.

7. **Claude Bernard** (1813-1878). Considerado como el padre de la Fisiología Experimental. Aplicó el método científico de Galileo a la Fisiología y la Medicina experimental, generando tanto el método fisiológico como el método clínico. Hizo muchos descubrimientos, pero lo más importante que hizo pudo ser la elaboración del concepto de medio interno y su equilibrio, que revolucionó la Fisiología y la Medicina. El equilibrio del medio interno se comenzó a determinar desde entonces con parámetros medibles. El medio interno permitiría la elaboración del concepto de Homeostasis.

8. **Walter Bradford Cannon** (1871 – 1945). Premio Nobel. Desarrolló el concepto de Homeostasis siguiendo la lógica de Bernard. Estableció la “respuesta de pelea o escapa” (fight or fly response) que sirvió de base para el desarrollo del concepto de estrés en Medicina.

9. **Hans Selye**. Janos Hugo Bruno “Hans Selye” (1907-1982). Siguió el sendero de Bernard-Cannon y sobre la “respuesta pelea o escapa” y muchos experimentos en su laboratorio, elaboró el concepto de estrés como respuesta inespecífica a estímulos que desafían la homeostasis.

10. **Paul Donald MacLean** (1913-2007). Neurocientífico con contribuciones significantes en la fisiología, psiquiatría e investigaciones del cerebro. Desarrolló la teoría de los tres cerebros en uno: reptiliano (automático), emocional (sistema límbico) y cognitivo (los hemisferios).

11. **Roger Wolcott Sperry** (1913-1994). Neuropsicólogo y Neurobiólogo estadounidense que obtuvo el Premio Nobel en 1981 por establecer la teoría de la

especialización de los hemisferios cerebrales estudiando a sujetos con cerebro dividido por la transección del cuerpo caloso.

12. **Pierre Paul Broca** (1824-1880). Médico, anatomista y antropólogo francés reconocido por descubrir el área motora del lenguaje hablado en la región frontal izquierda. Fue la primera prueba de lateralización hemisférica y del afianzamiento de la teoría de localización cerebral de funciones.

13. **Karl Wernicke** (1848-1905). Médico, anatomista, psiquiatra y neuropatólogo alemán que descubrió 10 años luego del descubrimiento trascendental de Broca, otra región importante, el área de Wernicke. La lesión de esta zona también en hemisferio izquierdo pero cerca al opérculo de Silvio impide la comprensión del lenguaje.

14. **Constantin Freiherr von Economo** (1876-1931). Psiquiatra y Neurólogo austriaco bien conocido por su descubrimiento de la encefalitis letárgica y por su atlas citoarquitectónico de la corteza cerebral. Importante fue el descubrimiento de las neuronas fusiformes típicas de los humanos y de otras pocas especies como ballenas. Estas neuronas llamadas neuronas Von en su honor, no tuvieron una función clara hasta hace poco.

15. **William James** (1842-1910). Filósofo y Psicólogo norteamericano considerado el padre de la Psicología en Estados Unidos. Estableció la corriente filosófica del pragmatismo. Fundó la psicología experimental. En sus predicciones notables está su oposición a la inmutabilidad del sistema nervioso adulto. Precursor por tanto de la neuroplasticidad.

16. **Lev Semyonovich Vygotsky** (1896-1934). Psicólogo ruso. Su trabajo fue en psicología del desarrollo. En su periodo holístico influido por la Gestalt y Kurt Lewin, introdujo la noción aunque vaga de lo que llamó principio de desarrollo cercano en el aprendizaje de los niños.

17. **Iván Petrovich Pavlov** (1849-1936). Fisiólogo ruso que descubrió el condicionamiento clásico y en 1905 recibió el premio Nobel.

18. **Jerzy Konorski** (1903-1973).Neurofisiólogo polaco que desarrolló junto a su compatriota Miller, la idea de los reflejos condicionados de Pavlov al descubrir experimentalmente el reflejo operante. Skinner lo descubrió después y lo popularizó. Su trabajo fue importante para el triunfo de la Neuroplasticidad funcional.

19. **Burrhus Frederic Skinner** (1904-1990). Psicólogo, Conductista, Autor, Inventor y Filósofo social norteamericano. Estableció el principio del reforzamiento. Codescubridor del aprendizaje instrumental. Precursor de la neuroplasticidad funcional como Konorski y Hebb.

20. **Donald O. Hebb** (1904-1985). Los escritos de James, Freud y Watson así como su conocimiento posterior de los trabajos de Pavlov combinados con la obtención de su doctorado con Karl Lashley en1936 permitieron, cuando retornó a Canadá, elaborar su teoría que devino en principio de Neuroplasticidad funcional: las neuronas que trabajan juntas se cablean juntas. Concepto clave que niega el dogma de inmutabilidad del sistema nervioso.

21. **Karl Spencer Lashley** (1890–1958), Psicofisiólogo con importantes contribuciones en el tema de aprendizaje y memoria. Al no encontrar el locus de memoria o engrama, sugirió que la memoria no se localizaba en un sitio específico y que se distribuía por toda la corteza cerebral. Fue maestro de Hebb.

22. **Joseph Altman** (1925-2016). En 1967demostró con técnicas histoquímicas, neurogénesis en hipocampo de roedores adultos. Era la demostración de Neuroplasticidad y el cierre del dogma de inmutabilidad. No obstante y tal vez por las técnicas histoquímicas que los demás investigadores no lograban, se comenzó a negar el resultado y a burlarse injustamente del investigador.

23. **Fernando Notebom** (1940, Buenos Aires). Professor at Rockefeller University.Jefe del laboratorio de Conducta animal y director del Centro de Ecología y Etología. Estudiando el canto de canarios encontró neurogénesis. La inyección de testosterona contribuyó con la recuperación. Tampoco este hallazgo acabó con el dogma de inmutabilidad del cerebro adulto.

24. **Terje Lømo y Timothy Bliss.** En 1973 publicaron el resultado más importante e influyente de la plasticidad sináptica. La LTP fue observada inicialmente por Terje Lømo en 1966 en Noruega. Lømo condujo una serie de experimentos en conejos anestesiados para explorar el rol del hipocampo en la memoria a corto plazo. Los experimentos de Lømo se focalizaron en las sinapsis, desde la vía perforante hacia el giro dentado. Se estimularon las fibras presinápticas de la vía perforante y la respuesta se obtuvo en células postsinápticas del giro dentado. Como se esperaba, un pulso simple de estimulación eléctrica a las fibras de la vía perforante causó un potencial postsináptico excitatorio en células del giro dentado. Lømo inesperadamente observó que la respuesta de la célula postsináptica a este estímulo de pulso simple, podía ser potenciada por un largo período de tiempo si primero entregaba un tren de estímulos de alta frecuencia a la fibra presináptica. Cuando tal tren de estímulos era aplicado, el subsecuente estímulo de pulso simple disparaba EPSPs más fuertes y prolongados en la población de células postsinápticas. Este fenómeno, por el que un estímulo de alta frecuencia podía producir un potenciamiento de larga vida en la respuesta de la célula postsináptica al subsecuente estímulo de pulso simple, fue inicialmente llamado "potenciación de larga duración" (LTP). Timothy Bliss, se unió al centro donde Lømo trabajaba en 1968, colaboró con él y en 1973 ambos publicaron la primera caracterización de la potenciación de larga duración en el hipocampo de conejo. Bliss y Tony Gardner Medwin publicaron un trabajo similar de potenciación de larga duración en el animal despierto que aparecía en el mismo tema del trabajo de Bliss y Lømo. En 1975, Douglas y Goddard propusieron la "potenciación a largo plazo" como nuevo nombre para el fenómeno de potenciación de larga duración. Andersen sugirió a los autores "potenciación a largo plazo" tal vez por su acrónimo fácilmente pronunciable, "LTP". En 1916 Timothy Bliss obtuvo el Premio Nobel.

25. **Paul Bach Y Rita** (1938-2009). Desarrolló un sistema de ejercicios con aditamentos a los que denominó Brainport. Pudo con su sistema lograr que su padre recuperase el lenguaje y movimientos tras un AVE. La neuroplasticidad en acción.

26. **Jill Bolte Taylor** (1959). Neuroanatomista dedicada al estudio de cerebros postmortem. Tuvo una oportunidad de investigación muy poco común para los científicos dedicados al estudio del cerebro: tuvo un derrame cerebral y pudo observar cómo se interrumpían, una por una, las funciones de su cerebro. Comprobó las diferencias de sus dos hemisferios. El izquierdo, donde tuvo su lesión: el del lenguaje, razonamiento, del YO separado de otros Yos y del mundo, con pensamiento lineal en serie, analítico y con posibilidad de moverse del presente al pasado y al futuro. El diestro, intuitivo con procesamiento en paralelo, sintético sin separación del mundo de energía en que se vive. En ocho años, fuertemente motivada por su recuperación, logró recobrar el lenguaje y los movimientos. Demostración de Neuroplasticidad.

Referencias Bibliográficas

1. Nakatani A, Han DH, Hansen PA, Nolte LA, Host HH, Hickner RC, et al. Effect of endurance exercise training on muscle glycogen supercompensation in rats. *J. Appl. Physiol.* 1997; 82(2):711–15.
2. Bernard Claude. *An Introduction to the Study of Experimental Medicine* (Dover edition 1957; originally published in 1865; first English translation by Henry Copley Greene) Macmillan & Co., Ltd; 1927.
3. Selye Hans. *The Stress of Life*. New York: McGraw-Hill; 1956, ISBN978-0070562127.
4. Sterling P, Eyer J. Allostasis: a new paradigm to arrange arousal pathology. In: S. Fisher & J. Reason (Eds.), *Handbook of Life Stress, Cognition and Health*. New York: John Wiley & Sons; 1988.
5. McEwen B. Allostasis and Allostatic Load: Implications for Neuropsychopharmacology. *Neuropsychopharmacology* (2000) 22:108–24. Disponible en: [https://doi:10.1016/S0893-133X\(99\)00129-3](https://doi:10.1016/S0893-133X(99)00129-3)
6. McEwen BS, Lasley EN. *The End of Stress As We Know It*. Dana Press; 2002.
7. Wilkinson PO. Childhood Adversity and Allostatic Overload of the Hypothalamic-Pituitary-Adrenal Axis: A Vulnerability Model for Depressive Disorders. *Development and Psychopathology*. 2011; 23:1017-37
8. MacLean PD. *The triune brain in evolution: role in paleocerebral functions*. New York: Plenum Press. (1990). ISBN0-306-43168-8. OCLC20295730
9. MacLean PD. Paul D. MacLean. In: Squire LR. *The history of neuroscience in autobiography*. 2. Bethesda, Md: Society for Neuroscience; 1998. (Published 1996). pp. 242–275. ISBN 0-12-660302-2. OCLC 36433905.

10. Newman JD, Harris JC. The scientific contributions of Paul D. MacLean (1913-2007). J. Nerv. Ment. Dis. United States. 2009; 197(1):3–5. Disponible en: <https://doi:10.1097/NMD.0b013e31818ec5d9>
11. Sperry RW. Mind-brain interaction: Mentalism, yes; dualism, no. Neuroscience. 1980; 5(2):195–06. Disponible en: [https://doi:10.1016/0306-4522\(80\)90098-6](https://doi:10.1016/0306-4522(80)90098-6).
12. Girstenbrey W. The different faces of the hemispheres. The presentation of the Nobel Prize for Medicine and Physiology 1981 to the neurobiologists Sperry, Hubel and Wiesel. Fortschritte der Medizin. 1981; 99(47–48):1978–82.
13. Ottoson D. Sperry has given us a new dimension on views of the higher functions of the brain. Lakartidningen. 1981; 78(43):3765–73.
14. Broca P. Sur le Siège de la faculté du langage articulé. Bulletin de la Société d'Anthropologie, 1^a Série 1865 6:377–93. Disponible en: https://www.persee.fr/doc/bmsap_0301-8644_1865_num_6_1_9495
15. Rizzolatti G, Fadiga L, Gallese V, Fogassi L. Premotor cortex and the recognition of motor actions. Brain Res Cogn Brain Res. 1996; 3:131–41.
16. Rizzolatti G, Luppino G. The cortical motor system. Neuron. 2001; 31:889–901.
17. Rizzolatti G, Craighero L. The mirror-neuron system. Ann Rev Neurosci. 2004; 27:169–92.
18. Fajardo Escobar MI, Buriticá, E, Arteaga G, Umbarila J. Casanova MF, Pimienta H, et al. Von Economo neurons are present in the dorsolateral (dysgranular) prefrontal cortex of humans. Neuroscience Letters. (2008). 435 (3): 215–18. Disponible en: <https://doi:10.1016/j.neulet.2008.02.048>.
19. Butti C, Sherwood CC, Hakeem AY, Allman JM, Hof PR. Total number and volume of Von Economo neurons in the cerebral cortex of cetaceans. The Journal of Comparative Neurology. 2009; 515(2): 243–59. Disponible en: <https://doi:10.1002/cne.22055>.

20. Evrard HC, Forro T, Logothetis NK. Von Economo neurons in the anterior insula of the macaque monkey. *Neuron*. (2012). 74 (3): 482–9. Disponible en: <https://doi:10.1016/j.neuron.2012.03.003>.
21. Hartley T, Burgess N, O'Keefe J, Lever C, Cacucci F. Modeling place fields in terms of the cortical inputs to the hippocampus. *Hippocampus*. 2000; 10:369–79. Disponible en: [https://doi:10.1002/1098-1063\(2000\)10:4%3C369::AID-HIPO3%3E3.0.CO;2-0](https://doi:10.1002/1098-1063(2000)10:4%3C369::AID-HIPO3%3E3.0.CO;2-0)
22. Fyhn M, Hafting T, Witter MP, Moser EI, Moser MB. Grid cells in mice. *Hippocampus*. 2008; 18(12):1230–38. Disponible en: <https://doi:10.1002/hipo.20472>.
23. Rennó-Costa C, Tort ABL. Place and Grid Cells in a Loop: Implications for Memory Function and Spatial Coding. *Journal of Neuroscience*. 2017, 37(34): 8062-76. Disponible en: <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3490-16.2017>
24. Hebb DO. *The Organization of Behavior: A Neuropsychological Theory*. New York, NY: John Wiley & Sons; 1949.
25. Taub E, Perrella P, Barro G. Behavioral Development after Forelimb Deafferentation on Day of Birth in Monkeys with and without Blinding. *Science*. 1973; September 7 181(4103):959–60.
26. Taub E. Overcoming learned nonuse: A new behavioral medicine approach to physical medicine. In: JG. Carlson, SR. Seifert, & N. Birbaumer. (Eds.) *Clinical applied psychophysiology*. 1994; 185–220.
27. Gould E, McEwen BS, Tanapat P, Galea LAM, Fuchs E. Neurogenesis in the dentate gyrus of the adult tree shrew is regulated by psychosocial stress and NMDA receptor activation. *The Journal of Neuroscience*. 1997; 17:2492-98.
28. Gould E, Tanapat P, McEwen BS, Flugge G, Gross CG, Fuchs E. Proliferation of granule cell precursors in the dentate gyrus of adult monkeys is diminished by stress. *Proc. Natl Acad Sci USA*. 1998; 95:3168-71.

29. Gould E, Beylin A, Tanapat P, Reeves A, Shors TJ. Learning enhances adult neurogenesis in the hippocampal formation. *Nature Neurosci.* 1999; 2:260-65.
30. Hastings NB, Gould E. Rapid extension of axons into the CA3 region by adult generated granule cells. *J Comp Neurol.* 1999; 413:146-54.
31. Gould E, Vail N, Wagers M, Gross CG. Adult-generated hippocampal and neocortical neurons in macaques have a transient existence. *Proc Natl Acad Sci USA.* 2001; 98:10910-17.
32. Erickson K, Gildengers A, Butters M. Physical activity and brain plasticity in late adulthood. *Dialogues Clin Neurosci.* 2013; 15(1):99–108.
33. Park D, Bischof G. The aging mind: neuroplasticity in response to cognitive training. *Dialogues Clin Neurosci.* 2013; 15(1):109–19.
34. Mora F. Successful brain aging: plasticity, environmental enrichment, and lifestyle. *Dialogues Clin Neurosci.* 2013; 15(1):45–52.
35. Martland HS. Punch Drunk. *Journal of the American Medical Association.* 1928; 91(15):1103–07.
36. Asken BM, Sullan MJ, DeKosky ST, Jaffee MS, Bauer RM. Research Gaps and Controversies in Chronic Traumatic Encephalopathy: A Review. *JAMA Neurology.* 2017; 74(10):1255–62.
37. Stein TD, Alvarez VE, McKee AC. Chronic traumatic encephalopathy: a spectrum of neuropathological changes following repetitive brain trauma in athletes and military personnel. *Alzheimer's research & therapy.* 2014; 6(1): Disponible en: <https://doi:10.1186/alzrt234>.
38. Barrio J, Small G, Wong K, Huang S, Liu J, Merrill D, et al. In vivo characterization of chronic traumatic encephalopathy using [F-18]FDDNP PET brain imaging. In: ME. Raichie (Ed) *PNAS* 2015; April 6, E2039–E2047. St Louis,

St Louis, MO: Washington University; 2015. Disponible en: <https://doi.org/10.1073/pnas.1409952112> .

39. Stern R, Daneshvar D, Baugh C. Clinical presentation of chronic traumatic encephalopathy. *Neurology*. 2013; 1122-29.

40. Gavett BE, Stern RA, McKee AC. Chronic Traumatic Encephalopathy: A Potential Late Effect of Sport-Related Concussive and Subconcussive Head Trauma. National Institutes of Health. *Clin Sports Med*. 2011 Jan; 30(1):179–xi. Disponible en: <https://doi:10.1016/j.csm.2010.09.007>

41. McKee A, Cantu R, Nowinski C, Hedley-Whyte T, Gavett B, Budson AE, et al. Chronic Traumatic Encephalopathy in Athletes: Progressive Tauopathy following Repetitive Head Injury. National Institutes of Health. *J Neuropathol Exp Neurol*. 2009; Jul 68(7):709-35. Disponible en: <https://doi:10.1097/NEN.0b013e3181a9d503>

42. Cohrs RJ, Martin T, Ghahramani P, Bidaut L, Higgins PJ, Shahzad A. Translational Medicine definition by the European Society for Translational Medicine. *New Horizons in Translational Medicine*. 2 (3):86–88. Disponible en: <https://doi:10.1016/j.nhtm.2014.12.002>.