Neurodinámica corazón-cerebro: La creación de las emociones

Rollin McCraty

Las emociones son...

la función en la que la mente y el cuerpo

interactúan más estrecha y misteriosamente.

-Ronald de Sousa, La racionalidad de la emoción

Por muy omnipresentes y vitales que sean en la experiencia humana, las emociones han sido durante mucho tiempo un enigma para la ciencia. Esta monografía explora los recientes avances científicos que aclaran controversias centrales en el estudio de la emoción, incluyendo la relación entre el intelecto y la emoción, y el debate histórico sobre el origen de la experiencia emocional. Se presta especial atención al intrigante conjunto de investigaciones que iluminan el papel crítico de la entrada ascendente del cuerpo al cerebro en la generación y percepción de las emociones. Este debate culmina con la presentación de un modelo de emoción orientado a los sistemas, en el que el cerebro funciona como un complejo sistema de ajuste de patrones, que procesa continuamente las entradas procedentes del entorno externo e interno. Desde esta perspectiva se demuestra que el corazón es un componente clave del sistema emocional, proporcionando así una base fisiológica para el vínculo largamente reconocido entre el corazón y nuestra vida emocional.

Los sistemas mental y emocional

La relación entre la mente y las emociones ha sido objeto de largas deliberaciones a lo largo de la historia, y la mayoría de las escuelas de pensamiento establecen una frontera entre ellas. La percepción, la valoración, la excitación, la atención, la memoria, el pensamiento, el razonamiento y la resolución de problemas suelen agruparse bajo el epígrafe más amplio de la cognición, o sistema mental. El sistema emocional, por otra parte abarca los sentimientos, que pueden abarcar una gama de intensidad. La importancia de profundizar en el conocimiento del sistema emocional se ha ido reconociendo como una importante objetivo científico, ya que ha quedado claro que las emociones subyacen a la mayor parte del estrés que experimentamos, influyen en nuestras decisiones,

proporcionan la motivación de nuestras acciones y crean las texturas que determinan nuestra calidad de vida. En los últimos años, ha surgido el concepto de "inteligencia emocional", que afirma que la madurez emocional es tan importante como las capacidades mentales, tanto en el ámbito personal como en el profesional, y que las competencias emocionales a menudo superan a las cognitivas a la hora de determinar el éxito.[1]

La tendencia a considerar que las emociones funcionan por separado y al margen de las capacidades racionales o intelectuales se remonta a la época de los antiguos griegos. Así, históricamente, el pensamiento y el sentimiento -o el intelecto y la emoción- se han descrito a menudo como fuerzas opuestas enzarzadas en una batalla incesante por el control de la psique humana. Platón sostenía que las emociones fuertes le impedían pensar y describía las emociones como caballos salvajes que debían ser refrenados por el intelecto, mientras que la teología cristiana ha considerado tradicionalmente que muchas emociones eran pecados y tentaciones que debían ser superadas por la razón y la fuerza de voluntad. Tradicionalmente, el intelecto se tenía en alta estima, mientras que las emociones se consideraban "irracionales" y recibían poco reconocimiento. Sin embargo, un examen moderno de las emociones nos presenta una perspectiva totalmente nueva, que proporciona una comprensión más completa del sistema emocional e ilumina los papeles críticos que las emociones desempeñan en la experiencia, el rendimiento y la racionalidad humanos.

La mayoría de los investigadores contemporáneos están de acuerdo en que la cognición y la emoción son funciones distintas mediadas por sistemas neuronales separados pero interconectados. Varios centros de investigación, en lugar de estudiar estos sistemas de forma aislada, intentan comprender las interacciones dinámicas esenciales que se producen entre ellos. Desde la perspectiva de la neurociencia, se han descubierto varias formas intrigantes de interacción que vinculan los centros cognitivos con las áreas de procesamiento emocional del cerebro. Por ejemplo, las conexiones neuronales bidireccionales que existen entre el córtex frontal y la amígdala permiten que la entrada relacionada con la emoción de la amígdala module la actividad cortical y que la entrada cognitiva del córtex module el procesamiento de la información emocional de la amígdala. [2-4]

Más allá de estas conexiones neuronales, los puentes bioquímicos también vinculan componentes clave de los sistemas mental y emocional. Se ha descubierto, por ejemplo, que el córtex contiene una alta densidad de receptores para muchos neuropéptidos que también están muy concentrados en las áreas subcorticales del cerebro, que están asociadas al procesamiento emocional.[5] Las pruebas sugieren, además, que los canales de comunicación que unen los sistemas mental y emocional son esenciales para la expresión de toda nuestra gama de capacidades mentales.[6]

En su libro "El error de Descartes", el neurólogo Antonio Damasio presenta pruebas de que los pacientes con daños cerebrales en los lóbulos frontales, un lugar clave de integración de los sistemas cognitivo y emocional dentro del cerebro, ya no pueden funcionar eficazmente en el mundo cotidiano, aunque sus capacidades intelectuales estén perfectamente intactas. Damasio presenta un poderoso argumento en apoyo de la posición aparentemente contraintuitiva de que la entrada del sistema emocional a nuestros centros de pensamiento no sólo facilita, sino que es realmente indispensable, el proceso de toma de decisiones racional.[7]

Las emociones influyen en casi todo tipo de actividad cognitiva de forma sutil pero crucial. Las emociones pueden dirigir la atención. Este fenómeno se conoce como efecto de congruencia del estado de ánimo.[8] Así, las personas en un determinado estado emocional prestan más atención a los estímulos que son emocionalmente congruentes con su estado emocional actual. Las emociones también influyen en la memoria y el aprendizaje, un efecto conocido en neurociencia como memoria dependiente del estado emocional.[9] Por eso, la información aprendida u obtenida en un estado emocional determinado puede recuperarse más fácilmente si el individuo vuelve a un estado emocional similar al que prevalecía durante el aprendizaje original. Las emociones también pueden afectar al juicio, así como al estilo de procesamiento cognitivo empleado durante la resolución de problemas. Este efecto es fácilmente demostrable en el laboratorio, así como en la vida cotidiana.[10]

Aunque la comunicación bidireccional entre los sistemas cognitivos y emocionales está integrada en el cerebro, el número real de conexiones neuronales que van de las áreas de procesamiento emocional a los centros cognitivos es mayor que el número que va en sentido contrario.[4] Esto explica en cierto modo la poderosa influencia de las emociones en los procesos de pensamiento. También proporciona una idea de cómo la experiencia emocional, en contraste con el pensamiento por sí solo, puede ser a menudo un poderoso motivador de actitudes y comportamientos futuros, influyendo en las acciones de cada momento, así como en el rendimiento a corto y largo plazo. Mientras que las emociones pueden disipar fácilmente los acontecimientos no emocionales de la conciencia, las formas no emocionales de actividad mental, como los pensamientos, no desplazan tan fácilmente a las emociones del paisaje mental. Asimismo, la experiencia nos recuerda que los pensamientos más omnipresentes y menos fáciles de descartar suelen ser los alimentados por la mayor intensidad de la emoción.

Curiosamente, el filósofo del siglo XVII René Descartes señaló este mismo punto hace más de trescientos años. Al comentar la función de la emoción humana en su Tratado sobre las Pasiones del Alma, Descartes escribió:

> *La utilidad de todas las pasiones consiste únicamente en que fortifican y perpetúan en el alma los pensamientos, que es bueno que conserve, y que sin eso podrían borrarse fácilmente de ella. Y además, todo el daño que pueden causar consiste en que fortifican y conservan estos pensamientos más de lo necesario, o que fortifican y conservan otros en los que no es bueno detenerse.*[11] *(art. 74)*

Las opiniones de Descartes sobre las emociones eran claramente más sofisticadas que la noción simplista de que las emociones son antagonistas del pensamiento racional. Descartes consideraba las emociones como una moneda de doble cara. Dan sustancia y sustento a lo que de otro modo podrían ser pensamientos efímeros. En consecuencia, pueden actuar tanto a favor como en contra de nosotros. En realidad, Descartes destacaba el contraste entre el potencial de las emociones gestionadas eficazmente y el daño causado por las emociones no gestionadas. Mientras que las emociones gestionadas eficazmente trabajan en sincronía con la mente para facilitar su actividad, las emociones no gestionadas pueden ser la fuente del caos mental.

Coherencia mental y emocional

Para refinar aún más la premisa de Descartes y expresarla en el contexto de los conceptos tratados aquí, podemos decir que cuando hay coherencia dentro y entre los sistemas mental y emocional, interactúan constructivamente para ampliar la conciencia y permitir un funcionamiento psicológico y fisiológico óptimo. Por el contrario, cuando los sistemas mental y emocional están desfasados, carecen de sincronización y, por tanto, interactúan de forma conflictiva, lo que compromete el rendimiento. Por ejemplo, la gente suele decirse a sí misma que “piense en positivo” sobre una tarea desafiante, pero emocionalmente puede seguir temiendo hacerla. Cuando nuestras emociones no están alineadas con la realización de la tarea, carecemos de motivación y entusiasmo, lo que limita nuestro acceso a la creatividad y la perspicacia, y por tanto impide nuestro rendimiento general. En otras palabras, como probablemente hayamos experimentado muchos de nosotros, los pensamientos o afirmaciones positivas a menudo sólo se superponen a un entorno interno subyacente de agitación emocional. En estos casos, el “pensamiento positivo” rara vez es capaz de producir un cambio duradero en los sentimientos negativos.

Para comprender mejor una experiencia como ésta, es importante darse cuenta de que muchas de las estrategias habituales de regulación de las emociones se basan en la suposición de que todas las emociones siguen al pensamiento y, por lo tanto, cambiando los pensamientos, uno debería ser capaz de ganar control sobre sus emociones. Sin embargo, en la última década, la investigación en neurociencia ha dejado bastante claro que los procesos emocionales operan a una velocidad mucho mayor que los pensamientos, y con frecuencia eluden por completo el proceso de razonamiento lineal de la mente.[4] En otras palabras, las emociones no siempre siguen al pensamiento; en muchos casos, de hecho, las emociones ocurren independientemente del sistema cognitivo y pueden sesgar o colorear significativamente el proceso cognitivo y su resultado o decisión.[3, 4]

Dado que la mente y las emociones afectan a una amplia gama de capacidades y respuestas, la coherencia mental y emocional es de suma importancia. La visión, la capacidad de escuchar, los tiempos de reacción, la claridad mental, la resolución de problemas, la creatividad y el rendimiento en una amplia gama de tareas están influidos por el grado de coherencia de estos dos sistemas en un momento dado. Dado que las emociones ejercen una influencia tan poderosa en los procesos cognitivos, la incoherencia emocional suele conducir a la incoherencia mental. Además, la incoherencia emocional suele ser la causa principal de los problemas "mentales" y del estrés. La salud mental se mantiene mediante la higiene emocional -la autogestión emocional- y los problemas mentales reflejan, en gran medida, una ruptura del orden o la estabilidad emocional.

Por otra parte, aumentar la estabilidad del sistema emocional a menudo puede llevar a la mente a una mayor sensación de paz y claridad. Cuando los sistemas mental y emocional están sincronizados, tenemos un mayor acceso a todo nuestro potencial y una mayor capacidad para manifestar nuestras visiones y objetivos, ya que el poder de la emoción se alinea con las capacidades de la mente. Y lo que es aún más intrigante, podemos obtener un control más consciente sobre este proceso de lo que se creía, mediante la aplicación de herramientas y técnicas diseñadas para aumentar la estabilidad emocional. La investigación empírica sobre los resultados de dichas técnicas indica que el aumento de la coherencia mental y emocional, a su vez, puede conducir a un mayor grado de coherencia fisiológica, que se manifiesta como una mayor eficiencia y sincronización en el funcionamiento de los sistemas fisiológicos.[12]

Las técnicas de fomento de la coherencia centradas en la emoción positiva desarrolladas por el Heart Math Institute implican al corazón como punto de entrada a las redes psicofisiológicas que subyacen a la experiencia emocional.[12-14] Uno de los focos de investigación de nuestro laboratorio durante la última década ha sido el estudio de los patrones y ritmos generados en varios sistemas fisiológicos durante la experiencia de diferentes emociones. Mediante la experimentación con numerosas medidas fisiológicas, hemos descubierto que los patrones de variabilidad de la frecuencia cardíaca (ritmo cardíaco) son sistemáticamente los más dinámicos y reflejan los cambios en el estado emocional de la persona. Hemos demostrado que las emociones positivas y negativas pueden distinguirse fácilmente por los distintos cambios en los patrones del ritmo cardíaco. Las emociones positivas sostenidas se asocian a un patrón de ritmo cardiaco notablemente coherente (es decir, ordenado, suave y similar a una onda sinusoidal), mientras que las emociones negativas se caracterizan por un patrón irregular y errático en los ritmos del corazón.[15] Además, una exploración más profunda nos llevó a descubrir que a los individuos poco saludables se les podría facilitar en gran medida la mejora de su salud física y emocional aprendiendo a generar los patrones de ritmo cardiaco coherentes que muestran los individuos sanos y de alto funcionamiento.

Una implicación importante de este trabajo, en relación con las ideas desarrolladas en este artículo, es que los patrones rítmicos generados por el corazón no sólo reflejan las emociones, sino que parecen desempeñar un papel clave a la hora de influir en la percepción y la experiencia emocional de cada momento. En resumen, a través de sus amplias interacciones con el cerebro y el cuerpo, el corazón surge como un componente crítico del sistema emocional. Antes de desarrollar más este concepto, lo ponemos en perspectiva ofreciendo una breve revisión histórica de la evolución del pensamiento científico sobre las emociones, que nos lleva a un resumen de los conocimientos científicos actuales en este campo.

El origen de la experiencia emocional: Un modelo en evolución

Los conocimientos científicos actuales sobre la fisiología de las emociones tienen sus raíces en la medicina galénica. La influencia de Galeno en el pensamiento científico persistió hasta bien entrado el siglo XIX, con la noción de que los pensamientos ("espíritus") circulan por los ventrículos del cerebro, y las emociones circulan por el sistema vascular. El pensamiento médico de aquella época sostenía que el temperamento estaba determinado por cuatro "humores" o secreciones: sanguíneo, colérico, flemático y melancólico. La investigación biomédica

confiaenlamarea@gmail.com

moderna ha complementado este modelo simplista con un rico conjunto de hormonas endocrinas y exocrinas, que se invocan en cualquier debate biológico serio sobre la emoción. Según el neuropsicólogo Karl Pribram, que supervisó el centro de investigación del cerebro de la Universidad de Stanford durante 30 años, la retirada de esta perspectiva ha sido lenta y vigilada por dos razones: Las viejas teorías no mueren fácilmente, y hay un aspecto de verdad en este punto de vista.[16] Los "espíritus" que circulan por los ventrículos han resultado ser actividad eléctrica neuronal, y los "humores" que fluyen por el sistema vascular, secreciones endocrinas.

Podría decirse que una característica definitoria de las emociones es que implican una mayor activación del sistema nervioso autónomo y una participación más conspicua del cuerpo que los estados mentales. Esta íntima relación entre las emociones y la fisiología se ha expresado durante siglos en canciones, poesía y prosa. Incluso la conversación ordinaria relativa a las experiencias emocionales contiene numerosas alusiones fisiológicas. No hay duda de que las emociones van acompañadas de una amplia gama de cambios fisiológicos. Por eso la gente tiende a describir las experiencias emocionales en términos fisiológicos, como "Mi corazón latía con fuerza", "Se me secó la garganta", "Se me heló la sangre", "Se me puso la piel de gallina", "Se me desgarró la tripa" y "Me dejó sin aliento". El hecho de que estas figuras retóricas se hayan arraigado tanto en el lenguaje cotidiano atestigua que nuestra experiencia de los estados emocionales está intrínsecamente entrelazada con sus manifestaciones corporales, si no es que es inseparable de ellas.

Pero, ¿cuál es la fuente última de las emociones: el cuerpo o el cerebro? ¿Las emociones se originan como sensaciones corporales que luego son percibidas por el cerebro, o se originan en el cerebro como producto de procesos cognitivos y sólo entonces se filtran al cuerpo? Esta controversia fundamental ha constituido el núcleo de un animado debate que ha hecho estragos durante más de un siglo, dando lugar a una fascinante y esclarecedora progresión de ideas.

El debate James-Cannon

En 1884, el debate sobre el origen de la experiencia emocional comenzó formalmente con una propuesta del psicólogo-filósofo William James en su artículo seminal titulado "¿Qué es una emoción?"[17] James creía que la experiencia emocional no sólo va acompañada de cambios orgánicos que se producen en el cuerpo en respuesta a un estímulo excitante, sino que en realidad surge de ellos. Estas señales fisiológicas (por ejemplo, corazón acelerado, estómago tenso, palmas de las manos sudorosas, músculos tensos, etc.) se transmiten posteriormente al cerebro, y sólo entonces se sienten conscientemente como una verdadera emoción. James propuso que podemos percibir lo que ocurre dentro de nuestro cuerpo del mismo modo que podemos percibir lo que ocurre en el mundo exterior. La conciencia de las reverberaciones sensoriales y motoras inmediatas que se producen en respuesta a una percepción (por ejemplo, el latido del corazón, la mandíbula apretada, etc.) es lo que hace que esa percepción sea emocional. Así pues, el aspecto sentimental de la emoción está dictado por la fisiología y no a la inversa. Según James:

> *Nuestra forma natural de pensar sobre... las emociones es que la percepción mental de algún hecho excita el afecto mental llamado emoción, y que este último estado mental da lugar a la expresión corporal. Mi tesis, por el contrario, es que los cambios corporales siguen directamente a la PERCEPCIÓN del hecho excitante, y que nuestra sensación de los mismos cambios cuando se producen ES la emoción*[17] *(pp. 189-190)*

James sostenía que la pauta precisa de retroalimentación sensorial transmitida del cuerpo al cerebro da a cada emoción su cualidad única. Así, la ira se siente de forma diferente a la tristeza o al amor porque tiene un patrón o firma fisiológica característica. James sostenía que las respuestas fisiológicas que contribuían a la emoción eran "casi infinitamente numerosas y sutiles",[17] (p. 191) y que reflejaban los matices de la fisiología y su contrapartida emocional.

Para ser justos con James, hay que señalar que su premisa original -que la sensación de cambios corporales es una condición necesaria de la emoción- fue subsecuentemente simplificada en exceso por muchos de sus contemporáneos, así como por muchos autores modernos.[18] La simplificación excesiva de los puntos de vista de James sugería que las emociones no son más que la sensación de cambios corporales. De hecho, al utilizar el término "percepción" en sus escritos, James reconoció el papel de la interpretación o valoración cognitiva del estímulo excitante en el inicio de la experiencia emocional. Sin embargo, sostenía que la "sensación" emocional no era un sentimiento primario suscitado directamente por la valoración, sino un sentimiento secundario suscitado indirectamente por los cambios orgánicos que se producían tras la valoración.

La perspectiva de James fue cuestionada en la década de 1920 por el destacado fisiólogo experimental Walter Cannon.[19] Cannon creía que los mecanismos esenciales de la emoción se producían únicamente en el cerebro y que las respuestas corporales y la entrada aferente al cerebro no eran necesarias para experimentar plenamente las emociones. Argumentaba, en resumen, que la retroalimentación corporal, especialmente la procedente de las vísceras, era demasiado lenta y no estaba suficientemente diferenciada para explicar el rango dinámico y la variedad de la expresión emocional. Aunque Cannon consideraba que las sensaciones corporales no podían explicar las diferencias entre las emociones, creía que, sin embargo, desempeñaban un papel importante a la hora de dar a las emociones su característico sentido de intensidad y urgencia.

Para apoyar sus opiniones, Cannon demostró que las respuestas viscerales inducidas artificialmente no producen por sí solas emociones y que los animales siguen mostrando un "comportamiento emocional" cuando se elimina quirúrgicamente la retroalimentación de las vísceras. Por supuesto, aquí Cannon se vio obligado a basarse únicamente en las pruebas conductuales para definir los parámetros de la emoción en sus sujetos animales. En lugar de la teoría visceral, Cannon propuso una teoría cerebral (talámica) de las emociones. Sugirió que la expresión emocional es el resultado del funcionamiento de las estructuras hipotalámicas, mientras que el sentimiento emocional es el resultado de la estimulación del tálamo dorsal. Esta teoría se basaba en la observación de que se podía provocar un comportamiento similar a la emoción en animales decorticados y descerebrados, pero no cuando se ablacionaban también las estructuras talámicas. Además, se obtenía una variedad de respuestas expresivas y corporales cuando se estimulaba eléctricamente el tálamo.[20]

En opinión de Cannon, el tálamo y el hipotálamo descargaban simultáneamente al cuerpo para producir respuestas fisiológicas y al córtex para producir experiencias emocionales. Al medir el tiempo que tardaba la estimulación eléctrica del hipotálamo en producir cambios viscerales, Cannon llegó a la conclusión de que estas respuestas corporales eran demasiado lentas para ser la causa de las emociones. Las consideraba más bien como el efecto, ya que sus mediciones sugerían que ya estaríamos sintiendo la emoción en el momento en que se producen estas respuestas.

Gran parte de las investigaciones experimentales de Cannon se centraron en las respuestas del sistema nervioso autónomo (SNA) que se producen en estados de hambre o de emoción intensa.[21] Sus investigaciones le llevaron a proponer el concepto de reacción de emergencia -la "respuesta de lucha o huida"- para describir una respuesta fisiológica específica que acompaña a cualquier estado en el que hay que gastar energía física. La división simpática del SNA, que él creía que actuaba de forma uniforme independientemente de cómo o por qué se activara, mediaba esta respuesta. Cannon sostenía que los cambios viscerales que acompañaban a la emoción formaban parte de esta excitación inespecífica y, por tanto, que todas las emociones tenían la misma firma del SNA.

Los argumentos de Cannon se impusieron al peso de la opinión científica de la época, y su punto de vista dio lugar a la búsqueda de mecanismos emocionales en el cerebro. Otros, como Lindsley y Papez, se basaron en la teoría de Cannon al trazar un mapa de las estructuras subcorticales y límbicas adicionales y de las vías de comunicación implicadas en las redes cerebrales de regulación de las emociones.[22-23] Las pruebas experimentales demostraron la existencia en la región hipotalámica de un proceso de conservación de la energía o trofotrópico que funciona principalmente a través de la rama parasimpática del SNA, y un sistema movilizador o ergotrópico

confiaenlamarea@gmail.com

que funciona a través de la rama simpática.[24] Se asumió que el hipotálamo y el tálamo dorsal estaban en la cúspide de la jerarquía de control de las funciones viscerales y autonómicas y que eran la clave para comprender los procesos emocionales.

El neuropsicólogo Karl Lashley fue el primero en criticar este supuesto. Señaló varios defectos de la teoría utilizando estudios de lesiones que mostraban que las alteraciones emocionales (en las que se basaba la teoría de Cannon) también podían observarse tras lesiones en otros lugares, como en las vías aferentes del sistema nervioso o entre el cerebro anterior y las estructuras talámicas.[25] También señaló que ni la teoría de James ni la de Cannon podían explicar la disociación entre la expresión emocional externa y los sentimientos internos, que es una observación clínica y experimental habitual.

La teoría límbica

En 1937 se produjo un importante avance cuando James Papez, profesor de neuroanatomía de la Universidad de Cornell, describió un circuito entre centros del cerebro y sugirió que podría constituir el sustrato neural de la emoción, introduciendo así la idea de un circuito o sistema en lugar de un único centro. Sugirió que el bloqueo del flujo de información en cualquier punto de este circuito causaría trastornos de las emociones. Este modelo, que ahora se conoce como el circuito de Papez, describía el flujo de información desde la formación del hipocampo hasta el tálamo, luego al giro cingulado y de nuevo a la formación del hipocampo. Esto fue elaborado posteriormente por Paul MacLean, jefe del laboratorio de evolución cerebral y comportamiento del Instituto Nacional de Salud Mental. En la década de 1950, MacLean introdujo el concepto de sistema límbico para denotar las regiones del cerebro que interactúan entre sí y que participan en el procesamiento emocional.[26, 27] Además de las áreas del circuito de Papez, MacLean incluyó en el sistema límbico regiones como la amígdala, el septum y la corteza prefrontal. Más tarde, también originó el modelo del cerebro triuno, que delineaba tres sistemas cerebrales funcionales que, según él, se desarrollaron sucesivamente en respuesta a las necesidades evolutivas.[28, 29] Aunque la teoría de MacLean ha tenido poca repercusión en la neurobiología, se ha hecho popular en la prensa no especializada y entre los psicoterapeutas. Sin embargo, hay que tener en cuenta que un amplio trabajo de neurobiología comparativa contradice inequívocamente los aspectos evolutivos de su teoría.[30]

MacLean creía que la experiencia emocional podía describirse con mayor precisión como una respuesta a la combinación de estímulos que el cerebro recibe del entorno externo, como resultado de las percepciones continuas del mundo exterior, y de las sensaciones internas o la retroalimentación transmitida al cerebro desde los órganos y sistemas corporales. El sistema límbico pasó a ser considerado como la estación receptora o el lugar de asociación y correlación de estos variados estímulos, estando estratégicamente situado para correlacionar toda forma de percepción interna y externa. MacLean también destacó la importancia de la memoria y aportó datos que demostraban que el córtex límbico supera al neocórtex en el recambio de proteínas, una medida de la demanda de nuevo ARN en la formación de la memoria.[31]

Aquí estaba por fin la sede de la emoción: el cerebro visceral. Karl Pribram lo resumió con lo siguiente:

> *El poder de persuasión de esta sugerencia es grande: Galeno, James..., [y] Cannon... están salvados; los procesos viscerales [corporales] son la base de la emoción; y una parte identificable del cerebro es responsable del control y la experiencia emocional debido a sus relaciones selectivas con las vísceras... El camino desde las "emociones en el sistema vascular" hasta las "emociones en el cerebro anterior" se había completado finalmente, y cada paso en el camino nos liberaba de las ideas preconcebidas popularmente cuando se dio el paso.[16] (p. 16)*

A pesar de su popularidad, la teoría límbica de las emociones tiene problemas y cae en las mismas críticas vertidas contra Cannon. La idea de un centro específico (es decir, el tálamo) como lugar privilegiado para la experiencia emocional no se sostiene; y el mismo problema se plantea con las relaciones entre las estructuras límbicas

y la entrada corporal, y para el caso, el propio sistema límbico y las emociones. Por ejemplo, se observó que los cambios emocionales pueden acompañar a las lesiones en partes del cerebro distintas de las áreas límbicas. Además, la ablación y la estimulación de las estructuras límbicas influyen en la resolución de problemas y otros comportamientos cognitivos de formas selectivas que no pueden atribuirse a cambios en la emoción. De hecho, tras las lesiones límbicas se observan defectos evidentes y específicos de la "memoria", mientras que no se encuentran cambios en las emociones.[20] Obviamente, la teoría de Papez-MacLean, al igual que sus predecesoras, sólo presentaba una parte del cuadro.

Con el desarrollo de nuevas técnicas de estimulación eléctrica del cerebro, Pribram y otros demostraron que las llamadas regiones cerebrales "límbicas" estaban bajo la vigilancia y el control del neocórtex.[32] Estructuras cerebrales como el hipocampo, la amígdala, el córtex cingulado, el septum, el tálamo, el hipotálamo y el córtex prefrontal pasaron a considerarse como intérpretes de la experiencia en términos de sentimientos y no de representaciones "intelectualizadas". Ahora parece que todo el cerebro, así como la entrada ascendente del cuerpo, tanto neurológica como hormonal, son necesarios en la experiencia completa de la emoción.

Memoria

Un aspecto importante de la experiencia emocional es la memoria. Las primeras asociaciones de la memoria con partes específicas del sistema límbico parecen haber sido realizadas en 1900 por el neurólogo-anatomista ruso Vladimir Mikhailovich Bekhterev cuando observó déficits de memoria en un paciente con degeneración del hipocampo.[20] La historia de la búsqueda de la memoria está mucho más allá del alcance de esta monografía; sin embargo, el trabajo del psicólogo canadiense Donald Hebb tiene especial relevancia para el tema de este artículo. En 1949, Hebb predijo una forma de plasticidad sináptica basada en la actividad temporal, que se verificó décadas después con el descubrimiento de la potenciación a largo plazo.[33] Hebb creía que las conexiones sinápticas eran la base material de las asociaciones mentales; sin embargo, fue mucho más allá de las teorías ingenuas del conexionismo de aquella época en dos aspectos importantes. En primer lugar, argumentó que una asociación no podía localizarse en una sola sinapsis. En su lugar, las neuronas se agrupaban en "conjuntos celulares", y una asociación se distribuía por sus conexiones sinápticas. En segundo lugar, Hebb rechazó el concepto de que los comportamientos de entrada-respuesta pudieran explicarse mediante simples arcos reflejos que conectaran las neuronas sensoriales con las neuronas motoras o de salida. Creía que la estimulación sensorial podía iniciar patrones de actividad neuronal que se mantenían mediante la circulación en bucles de retroalimentación sináptica. Esta actividad reverberante hacía posible que una respuesta siguiera un retraso característico del pensamiento. En esencia, Hebb defendía un mecanismo de doble huella de la memoria. La actividad neuronal reverberante era el rastro de la memoria a corto plazo, y las conexiones sinápticas eran el rastro de la memoria a largo plazo. Planteó la hipótesis de la conversión de la memoria a corto plazo en memoria a largo plazo mediante la estabilización de los patrones de actividad reverberante. Una vez almacenado dicho patrón de actividad, en una redistribución o cambio en la fuerza de las conexiones sinápticas, podría ser recuperado repetidamente por una excitación de las neuronas sensoriales o de otros patrones de actividad reverberante que se produjeran en otros conjuntos celulares que proporcionaran entradas. En los últimos cincuenta años, se han confirmado varios aspectos de la teoría de Hebb, mientras que todavía no existe la tecnología necesaria para demostrar o refutar otros aspectos.

En la década de 1970, el descubrimiento de la potenciación a largo plazo hizo posible una nueva comprensión de la cuestión de lo que ocurre en el cerebro durante el intervalo de tiempo entre el estímulo y la respuesta. Esto y los primeros modelos de redes neuronales de la actividad de retardo proporcionaron un candidato para la actividad "reverberante" de Hebb. Por ejemplo, se ha demostrado que ciertas neuronas de la corteza prefrontal permanecen activas durante retrasos de muchos segundos y codifican información sobre el estímulo precedente o la respuesta inminente. Se han confirmado los cambios en la distribución y la fuerza de las sinapsis, y este aspecto de su teoría no está en duda. Lo que sigue sin saberse es si el retraso entre el estímulo y la respuesta se debe realmente a una actividad de tipo reverberante y, en caso afirmativo, si la actividad reverberante está estabi-

confiaenlamarea@gmail.com

lizada por la potenciación a largo plazo. Además, el concepto de Hebb de sólo dos rastros de memoria puede ser incorrecto, ya que ahora se sabe que la plasticidad sináptica implica muchos procesos que operan en diferentes escalas de tiempo.[34]

Perspectivas actuales sobre la naturaleza de la emoción

La mayoría de los teóricos están ahora de acuerdo en que la emoción implica, en el nivel más fundamental, el registro y la interpretación de un estímulo basado en procesos de memoria, además de la información procedente de las respuestas fisiológicas y los estados de sentimiento subjetivos. En los últimos años, se ha intentado determinar la secuencia "correcta" de estos componentes en la generación de la experiencia emocional. Sin embargo, cuando la interpretación, el sentimiento subjetivo y las respuestas corporales se consideran procesos, en lugar de acontecimientos discretos o simples relaciones de entrada-salida, el origen de gran parte de la controversia se disuelve.[18]

Descubrimos que, efectivamente, es posible tener un procesamiento emocional en áreas cerebrales específicas simultáneamente con la entrada del cuerpo en el cerebro, cada una de las cuales se basa en la otra para contribuir al proceso dinámico de la emoción. La reciente elucidación de las numerosas vías aferentes a través de las cuales el cuerpo transmite señales al cerebro y la interacción de esta información con los procesos cerebrales de nivel superior proporciona un fuerte apoyo a esta perspectiva. Elmer Green, médico de la Clínica Menninger y pionero del enfoque de biorretroalimentación para el tratamiento de la enfermedad, ofreció un astuto resumen de este tema tan debatido: "Todo cambio en el estado fisiológico va acompañado de un cambio apropiado en el estado emocional mental, consciente o inconsciente, y a la inversa, todo cambio en el estado emocional mental, consciente o inconsciente, va acompañado de un cambio apropiado en el estado fisiológico. [35]

El elemento restante de la controversia, a saber, la especificidad de las respuestas fisiológicas, debe tener en cuenta ahora los nuevos datos que revelan que la comunicación entre el cuerpo y el cerebro es mucho más sofisticada y compleja de lo que se imaginaba. La generación de estos datos ha sido posible, en parte, gracias al desarrollo de técnicas de registro e instrumentación más sofisticadas que captan con mayor claridad las sutilezas y complejidades de la comunicación entre los distintos sistemas corporales y entre el cuerpo y el cerebro. Además, los avances tecnológicos nos han permitido conseguir mediciones más precisas de la actividad neuroendocrina e inmunitaria, ofreciendo así una visión más amplia del conjunto de respuestas fisiológicas a nivel celular que acompañan a los distintos estados emocionales.

Antes de presentar un nuevo modelo de la emoción que sintetiza y desarrolla muchas de las perspectivas discutidas hasta ahora, es pertinente un breve repaso del papel que desempeña la actividad de las vías eferentes y aferentes del sistema nervioso en la experiencia emocional.

Especificidad de las respuestas autonómicas

Volvamos a la suposición de Cannon de que todas las emociones están asociadas al mismo estado básico de excitación o activación inespecífica del SNA. En la década de 1960, Stanley Schachter y Jerome Singer, psicólogos sociales de la Universidad de Columbia, adoptaron este punto de vista sugiriendo que una interpretación cognitiva de un estado básicamente indiferenciado de excitación fisiológica dentro del contexto social o ambiental del estímulo excitante era el factor que faltaba para determinar la especificidad de la emoción.[36] El modelo de

Schachter y Singer, denominado teoría de los dos factores, proponía que las emociones se producen tanto por la respuesta del cuerpo como por la valoración cognitiva de lo que causaba esas respuestas. En otras palabras, etiquetamos la respuesta en función de lo que creemos que la causa. Esta teoría tuvo una profunda influencia en el pensamiento sobre el tema de la emoción en aquella época. Sin embargo, en los últimos treinta años ha cambiado la tendencia, ya que han surgido más pruebas que indican que las respuestas autonómicas en los distintos estados emocionales son mucho más complejas de lo que se suponía anteriormente, y ciertamente están lejos de ser uniformes.

A diferencia del pensamiento de la época de Cannon, que atribuía la excitación emocional únicamente a la activación del sistema nervioso simpático, ahora comprendemos que en la experiencia de las distintas emociones intervienen cambios simultáneos y complejos en los patrones de actividad eferente de las ramas simpática y parasimpática del SNA. Las sensaciones producidas en cualquier estado emocional dependen del grado en que los efectos simpáticos se equilibran con las influencias parasimpáticas; por ello, el equilibrio simpático/parasimpático se ha convertido en una medida importante en la investigación psicofisiológica.

Muchos estados emocionales se asocian a patrones complejos de actividad simpática/parasimpática en diferentes tejidos. Por ejemplo, en los estados de agresión y resentimiento, el aumento de las descargas simpáticas se produce en el sistema vascular, mientras que las descargas parasimpáticas predominan en el tracto gastrointestinal. Por el contrario, el aumento de la actividad simpática se produce tanto en el sistema cardiovascular como en el gastrointestinal en los estados de miedo. Además, las respuestas autonómicas varían tanto cuantitativa como cualitativamente con el grado de intensidad emocional.[37]

Varios experimentos realizados en la década de 1950 demostraron que las diferentes emociones podían diferenciarse psicofisiológicamente.[38-41] Estos hallazgos se han confirmado recientemente.[42-46] Por ejemplo, en un experimento realizado por Ekman y sus colegas de la Universidad de California en San Francisco, los sujetos experimentaron diferentes estados emocionales (felicidad, sorpresa, asco, tristeza, miedo e ira) tanto reviviendo experiencias emocionales pasadas como construyendo prototipos faciales de la emoción, músculo a músculo, según las instrucciones. Se encontraron diferencias específicas en los parámetros autonómicos de la frecuencia cardíaca, la temperatura de los dedos y la resistencia de la piel entre las seis emociones diferentes medidas. Los patrones de respuesta diferían no sólo entre las emociones positivas y negativas, sino también entre las emociones negativas de asco, tristeza, ira y miedo. Estas diferencias eran coherentes en cuanto a la profesión, la edad, el sexo y la cultura.[43] Aunque ésta y otras investigaciones aportaron pruebas convincentes de la variación autonómica entre los distintos estados emocionales, la variación medida era a menudo pequeña y presente sólo en algunos de los parámetros fisiológicos, o experimentada sólo por un subconjunto de sujetos.

Un estudio más reciente en el que se midieron múltiples parámetros autonómicos demostró que seis emociones básicas (felicidad, sorpresa, ira, miedo, tristeza y asco) podían diferenciarse completamente sobre la base de variables electrodérmicas (resistencia de la piel, conductancia de la piel y potencial de la piel), variables termovasculares (flujo sanguíneo de la piel y temperatura de la piel) y una variable respiratoria (frecuencia respiratoria instantánea).[45] Estos resultados apoyan claramente el concepto de actividad del SNA específica de la emoción, que puede demostrarse con la ayuda de procedimientos experimentales cuidadosos siempre que se tenga en cuenta un número suficiente de variables autonómicas.

También se han identificado diferencias individuales en los patrones de descarga autonómica durante los estados emocionales y se han asociado a características de la personalidad. Por ejemplo, los individuos que se han caracterizado como tipos de personalidad “impulsivos” muestran episodios rítmicos de secreción de sudor palmar y aumentos de la frecuencia cardíaca incluso en reposo, mientras que en otros apenas se producen cambios en estos parámetros fisiológicos en circunstancias similares.[37]

confiaenlamarea@gmail.com

La importancia de la entrada aferente

Además de comprender cómo se correlacionan los complejos patrones de actividad autonómica eferente con las distintas emociones, muchos científicos están empezando a entender el papel fundamental que desempeñan las señales neuronales aferentes que fluyen desde el cuerpo hasta el cerebro. Se ha demostrado que la retroalimentación aferente de los órganos corporales afecta a la actividad cerebral general y ejerce una influencia medible en los procesos cognitivos, perceptivos y emocionales.

Los libros de texto de fisiología están repletos de diagramas que ilustran las vías del sistema nervioso desde el cerebro hasta los órganos inervados autónomamente. Sin embargo, muchas de estas ilustraciones no completan el circuito de comunicación. A menudo omiten los extensos sistemas de fibras aferentes viscerales, que llevan mensajes desde los receptores del cuerpo hasta el cerebro. Las vías nerviosas que conectan la mayoría de los sistemas orgánicos con el cerebro están, de hecho, compuestas por tantas fibras aferentes como conexiones eferentes;[47] mientras que, en algunos nervios viscerales, como el vago abdominal, hasta el 90 por ciento de las fibras son aferentes.[48] Sorprendentemente, ahora sabemos que el corazón envía más tráfico neural al cerebro que el cerebro al corazón. Aunque las vías aferentes se identificaron durante los primeros años de la investigación autonómica, no se hizo hincapié en su estudio. Sin embargo, las investigaciones llevadas a cabo principalmente entre los años 50 y los 70 empezaron a iluminar la importancia de la entrada aferente desde las cavidades torácica, abdominal y del cuello hasta el cerebro, y los efectos de esta entrada en la actividad cerebral y la experiencia emocional.

Uno de los primeros en contribuir a nuestra comprensión de la importancia del tráfico neuronal aferente fue el internista alemán Ludwig van Müller. Se interesó especialmente por la percepción de los estímulos sensoriales procedentes de los órganos internos y su papel en la regulación de los distintos estados y sensaciones corporales.[49] Señaló, en 1906, que las emociones influyen en el ritmo cardíaco y, a la inversa, que el ritmo cardíaco influye en las emociones. Por ejemplo, observó que las palpitaciones cardíacas pueden inducir emociones.[50]

Las primeras pruebas neurofisiológicas de la influencia de la entrada aferente en la actividad cerebral se remontan a 1929. Tournade y Malméjac, seguidos por Koch dos años más tarde, demostraron que la estimulación del nervio del seno carotídeo (que aporta fibras aferentes que entran en el tronco cerebral), o un aumento de la presión en el propio seno carotídeo, producía una disminución del tono muscular en animales anestesiados.[51] Koch también demostró que aumentando bruscamente la presión dentro del seno carotídeo podía inhibir la actividad motora e inducir un sueño prolongado. Estos resultados se confirmaron en investigaciones posteriores, que demostraron que la distensión del seno carotídeo producía marcados cambios en la actividad eléctrica cortical, de ondas rápidas de bajo voltaje a ondas lentas de alto voltaje (características del sueño), e inhibía la actividad de las células nerviosas piramidales de la corteza motora, que controlan el movimiento muscular.[51]

En la década de 1950, neurofisiólogos franceses e italianos realizaron diversos experimentos para investigar los efectos de los cambios en la frecuencia cardíaca y la presión arterial sobre la actividad cerebral. Los cambios en la frecuencia cardíaca y la presión arterial son detectados por receptores situados en el corazón, el arco aórtico y el seno carotídeo. La información de estos receptores se transmite al tronco cerebral a través de los nervios vagales y glosofaríngeos. [52] En un estudio, Bonvallet y Allen demostraron que la eliminación de la entrada glosofaríngea y vagal al cerebro provocaba una prolongación de la activación cortical y de la actividad muscular esquelética.[53] Después, en 1974, los investigadores franceses Gahery y Vigier, trabajando con gatos, descubrieron que la estimulación del nervio vago reducía la respuesta eléctrica del núcleo cuneado del cerebro a aproximadamente la mitad de su tasa normal.[54] Desde entonces, se han reunido numerosos datos experimentales que documentan el papel que desempeña la entrada aferente en la modulación de procesos tan variados como la percepción del dolor,[55] la producción de hormonas,[56] la actividad electrocortical y las funciones cognitivas.[57-59] Los estudios con animales han demostrado ahora que diversas regiones del cerebro participan en el procesamiento de la información aferente visceral, como los núcleos hipotalámicos y talámicos, la amígdala, el hipocampo, el cerebelo, el córtex somatosensorial, el córtex prefrontal y la ínsula.[60, 61] Así pues, ha quedado claro que la influencia de las señales aferentes cardiovasculares en el cerebro es mucho más generalizada de lo que se consideraba anteriormente.

Descubrir las conversaciones entre el corazón y el cerebro

Entre los primeros investigadores psicofisiológicos modernos que examinaron sistemáticamente las "conversaciones" entre el corazón y el cerebro estuvieron John y Beatrice Lacey.[62] Durante 20 años de investigación a lo largo de las décadas de 1960 y 1970, observaron que la entrada aferente del corazón y el sistema cardiovascular podía afectar significativamente a la percepción y el comportamiento. Sus investigaciones produjeron un conjunto de pruebas conductuales y neurofisiológicas que sugerían que la integración sensomotora podía modificarse por la actividad cardiovascular.[52, 63-66]

Las observaciones de los Lacey cuestionaron directamente la teoría de la "excitación" o "activación" propuesta por Cannon. En esencia, Cannon creía que todos los indicadores fisiológicos subyacentes a la emoción -el ritmo cardíaco, la sudoración, la presión sanguínea, la dilatación de las pupilas, el estrechamiento de ciertos vasos sanguíneos, etc.- se movían previsiblemente en concierto con la respuesta del cerebro a un estímulo determinado. Así, Cannon había sugerido que cuando estamos excitados, el sistema nervioso simpático nos moviliza para luchar o huir. En cambio, en momentos más tranquilos, el sistema nervioso parasimpático relaja nuestros sistemas internos. Presumiblemente, las respuestas autonómicas aumentaban todas juntas cuando estábamos excitados y disminuían al unísono cuando estábamos en reposo, y el cerebro controlaba totalmente estos dos procesos.

Los Lacey se dieron cuenta de que esta visión de la activación como una única dimensión sólo se ajustaba parcialmente al comportamiento fisiológico real; observaron que todas las respuestas fisiológicas no siempre se movían juntas. A medida que su investigación evolucionaba, descubrieron que el corazón, en particular, parecía tener su propia lógica peculiar que con frecuencia divergía de la dirección de otras respuestas del SNA. En esencia, el corazón parecía comportarse como si tuviera una mente propia. En estudios de laboratorio sobre el tiempo de reacción y las respuestas operantes, los Lacey observaron que, en respuesta a determinados estímulos, todas las variables autonómicas registradas no mostraban el patrón de respuesta esperado, típico de la excitación. A veces, por ejemplo, la frecuencia cardíaca se desaceleraba y la presión arterial disminuía, mientras que los parámetros registrados simultáneamente, como la conductancia de la piel, la frecuencia respiratoria y la dilatación pupilar, aumentaban como se esperaba. Los Lacey llamaron a este fenómeno fraccionamiento direccional y señalaron que parecía depender de la naturaleza del estímulo y del tipo de procesamiento mental implicado.[63]

Los Lacey descubrieron que las tareas que requerían concentración mental o atención a los estímulos internos (por ejemplo, la aritmética mental, la ortografía inversa o la confección de frases) producían una aceleración de la frecuencia cardíaca y un aumento de la conductancia cutánea. En cambio, las tareas que requerían atención al entorno externo (por ejemplo, detectar colores y patrones o empatizar con un recitado dramático) producían una marcada desaceleración de la frecuencia cardíaca, aunque la conductancia de la piel seguía aumentando. Los Lacey también demostraron que los patrones de las respuestas fisiológicas se veían afectados tanto por el contexto de una tarea específica y sus requisitos como por los estímulos emocionales. Así, la frecuencia cardíaca, por ejemplo, tiende a disminuir, incluso en presencia de un contexto emocional angustioso, cuando los sujetos están atendiendo visual o auditivamente a los acontecimientos de su entorno externo; por otra parte, la frecuencia cardíaca se acelera cuando los sujetos recuerdan mentalmente y piensan en el mismo material emocional desagradable.[63-65] Investigaciones posteriores también revelaron una intrigante relación entre la respuesta de la frecuencia cardíaca (pero no otras respuestas autonómicas) a diferentes estímulos ambientales y el estilo cognitivo de un individuo, o su actitud hacia el entorno externo.[67-68]

La selectividad de la respuesta del corazón indicaba que no se limitaba a responder mecánicamente a una señal de excitación del cerebro. Y lo que es más intrigante, en los experimentos de tiempo de reacción simple, que requerían la atención a las señales externas, se observó una desaceleración anticipada de la frecuencia cardíaca durante el intervalo preparatorio, y los tiempos de reacción de los sujetos eran más rápidos durante los períodos en los que su frecuencia cardíaca se ralentizaba.[52] Esto llevó a los Lacey a proponer que la retroalimentación aferente cardiovascular a los centros cerebrales superiores desempeña un papel en la facilitación de la ingesta o el rechazo de los estímulos ambientales, de acuerdo con la naturaleza del procesamiento mental requerido para

confiaenlamarea@gmail.com

una tarea determinada.66 En resumen, un mecanismo de este tipo nos permitiría "desconectar" eficazmente los acontecimientos ambientales externos potencialmente perturbadores cuando realizamos tareas que requieren una elaboración cognitiva interna y, a la inversa, centrarnos en las entradas externas cuando nuestras actividades exigen una atención estrecha a nuestro entorno.

En apoyo de esta hipótesis, los Lacey y otros encontraron pruebas de que, en los seres humanos, en condiciones fisiológicas normales, la actividad cerebral varía en relación con los acontecimientos cardiovasculares.[52, 69] Así, el aumento de la frecuencia cardíaca y el consiguiente aumento de la descarga aferente inhibe (desincroniza) la actividad cortical. A la inversa, la disminución de la frecuencia cardíaca que se produce antes de la entrada sensorial promueve la facilitación y el procesamiento cortical al reducir la inhibición cerebral.[66] En sus experimentos sobre el tiempo de reacción, los Lacey descubrieron que cuanto mayor era la desaceleración cardíaca, mayor era la activación cortical y mayor era la eficacia conductual (es decir, más rápida era la velocidad de respuesta). En otras palabras, la entrada aferente al cerebro desde el corazón puede inhibir o facilitar la actividad del cerebro, que, a su vez, puede afectar a la percepción y a la actividad motora

Estudios de potenciales evocados

Una técnica útil para el estudio de cómo y dónde fluye la información a través del cerebro es el análisis de potenciales evocados. Los potenciales evocados (también denominados a veces potenciales relacionados con eventos) se obtienen utilizando el promedio de señales, un procedimiento para separar una señal repetitiva conocida de otras señales.

El análisis de potenciales evocados puede utilizarse para estudiar el flujo de información a través de muchas vías diferentes del cerebro. Las aplicaciones habituales de esta técnica son el estudio de los sistemas visual, auditivo y somatosensorial. En el caso del sistema visual, por ejemplo, el flujo de información a través del sistema nervioso producido en respuesta a una serie de destellos de luz o a un estímulo visual cambiante de cualquier tipo puede rastrearse a través de las diferentes vías visuales a medida que se procesa. En este caso, las formas de onda resultantes se denominan potenciales evocados visuales. También es posible examinar el flujo de entrada aferente a través del cerebro desde muchos otros sistemas sensoriales, como el auditivo y el táctil, o evaluar cómo un cambio en las señales aferentes generadas por un sistema afecta al procesamiento de la información en otro sistema.

Por ejemplo, se han estudiado los efectos de la entrada aferente cardíaca en la percepción sensorial observando cómo estas señales afectan al procesamiento en el sistema visual. Se ha demostrado que el procesamiento de la información visual se modifica significativamente al cambiar la frecuencia cardíaca y la presión carotídea. Estos resultados confirman las pruebas conductuales anteriores de Laceys de que la actividad cardiovascular influye en la percepción sensorial.[70]

Aunque estos datos apoyan indirectamente la opinión de que la información aferente cardiovascular interactúa con las funciones nerviosas centrales superiores, los experimentos del investigador alemán Rainer Schandry y otros han proporcionado pruebas psicofisiológicas más directas para esta perspectiva. Sus trabajos han demostrado que los eventos cardiovasculares, como los latidos del corazón, son detectables como una señal en el EEG y evocan respuestas corticales análogas a los potenciales sensoriales "clásicos" relacionados con eventos.[60, 71, 72] Cuando se estudian las señales aferentes del corazón, se utiliza la onda R del ECG como fuente de sincronización para el promedio de la señal y las formas de onda resultantes se denominan potenciales evocados de latidos del corazón (PEAT). Estos experimentos han demostrado que el procesamiento de la información aferente del sistema cardiovascular va acompañado de una actividad eléctrica específica en el cerebro. Este procesamiento de la información aferente cardiovascular es más pronunciado en las áreas frontocorticales, una región cerebral que se sabe que está especialmente implicada en el procesamiento de la información aferente visceral. Hallazgos recien-

tes han demostrado que la PEAH está significativamente disminuida en los pacientes diabéticos con neuropatía autonómica, y la reducción de la amplitud de la PEAH está significativamente correlacionada con una menor conciencia de las sensaciones corporales.[73] En otras palabras, cuando la comunicación de las señales aferentes del corazón al cerebro está comprometida, hay menos conciencia de las sensaciones corporales.

Además, se ha comprobado que los factores psicológicos, como la motivación, la atención a las sensaciones cardíacas y la sensibilidad perceptiva general, alteran las PEHB en el cerebro de forma análoga al procesamiento cortical de los estímulos externos.[60, 72] Estos hallazgos confirman nuestros propios datos que demuestran que centrar la atención en la zona del corazón y generar una emoción positiva altera las PEHB, lo que indica una modulación del procesamiento cortical. En conjunto, estos datos sugieren que la percepción y el procesamiento de la información procedente de los procesos corporales son comparables a la percepción y el procesamiento de los acontecimientos externos, y que deben tenerse en cuenta los efectos de ambas fuentes de entrada en la experiencia perceptiva y emocional.

En resumen, las pruebas demuestran ahora claramente que las señales aferentes del corazón influyen significativamente en la actividad cortical. En concreto, ahora sabemos que los mensajes aferentes del sistema cardiovascular no sólo se transmiten al tronco cerebral para ejercer efectos homeostáticos sobre la regulación cardiovascular, sino que también tienen efectos separados sobre aspectos de la actividad perceptiva superior y el procesamiento mental. Además, como se expone a continuación, ahora hay datos, tanto de animales como de humanos, que apoyan la premisa de que el procesamiento emocional central también se ve alterado por la entrada aferente del corazón.

La entrada aferente influye en el procesamiento emocional: El papel de la amígdala

La influencia de la entrada aferente cardiovascular al cerebro en los procesos emocionales se pone de manifiesto en las pruebas recientes que sugieren que los aspectos psicológicos del trastorno de pánico suelen ser creados por una taquicardia paroxística supraventricular (TSV) no reconocida, una arritmia auricular de aparición repentina. Según un estudio, los criterios del DSM-IV para el trastorno de pánico se cumplían en más de dos tercios de los pacientes con estas arritmias de aparición súbita. En los pacientes en los que no se reconoció la TVSP en la evaluación inicial, los síntomas se atribuyeron al pánico, la ansiedad o el estrés en el 54% de los casos. En la mayoría de los casos, una vez reconocida y tratada la arritmia, el trastorno de pánico desapareció.[74] Curiosamente, este estudio confirmó las observaciones del pionero investigador del SNA, Müller, que informó de la inducción de emociones por las palpitaciones cardíacas más de 90 años antes.[50] Asimismo, nuestras investigaciones también han demostrado que el cambio del patrón de información aferente generado por el sistema cardiovascular puede influir significativamente en la percepción y la experiencia emocional.[12, 75]

La amígdala ha sido objeto de un intenso escrutinio en los últimos años. Este centro cerebral desempeña un papel clave en la memoria emocional, el procesamiento emocional y el sueño.[76] Varios estudios han investigado los efectos de la entrada aferente cardiovascular en el complejo amigdalino (es decir, la amígdala y los núcleos asociados). Por ejemplo, en los gatos, se ha demostrado que la actividad neural espontánea del núcleo central de la amígdala está sincronizada con el ciclo cardíaco y está modulada por la entrada aferente de los nervios depresores de la aorta y del seno carotídeo.[77] De forma similar, los datos de humanos sometidos a cirugía por epilepsia demostraron que las células del complejo amigdalino respondían específicamente a la información del ciclo cardíaco.[78] Pribram, que realizó gran parte de la cartografía original de las funciones del complejo amigdalino, descubrió que tiene amplias proyecciones tanto a los núcleos autonómicos del tronco cerebral como a los centros cognitivos superiores, por lo que se encuentra en una posición única para coordinar las respuestas afectivas, conductuales, inmunológicas y neuroendocrinas a los estímulos ambientales.[16,79] La interacción observada de la entrada cardíaca aferente con esta región cerebral apoya la opinión de que la información visceral no sólo influye en el procesamiento emocional y la experiencia emocional, sino que también puede influir en las respuestas hormonales e inmunitarias.[75]

confiaenlamarea@gmail.com

Junto con el papel demostrado de la amígdala en la regulación de la actividad visceral-autonómica y los efectos resultantes en la familiarización, considerados a continuación, surge una nueva visión del procesamiento y la regulación emocional.

El papel de la familiarización en el procesamiento emocional

Para ampliar nuestra comprensión del sistema emocional y del papel del corazón en la emoción, revisaremos ahora el modelo de la emoción desarrollado por primera vez por Karl Pribram.[80] Dicho de forma sencilla, en el modelo de Pribram se forma y mantiene un conjunto de memorias, o patrones estables de actividad, en la arquitectura neuronal del cerebro a medida que ganamos experiencia tanto en la autorregulación interna como en la interacción con el entorno externo. Estos patrones estables se actualizan y modifican a medida que nos encontramos con nuevas experiencias y aprendemos cómo una determinada acción suele conducir a un resultado específico. Toda la entrada sensorial en curso o actual que llega al cerebro, tanto del sistema sensorial interno como del externo, se compara con estos patrones estables. Cuando se produce un desajuste entre la entrada actual y un patrón estable, se percibe la novedad. Estos patrones estables crean un conjunto de "expectativas" con las que se evalúan la respiración, la alimentación, la bebida, el sueño, la alerta, el sexo y otros comportamientos. El patrón neurológico estable actúa como un punto de referencia con el que se compara una entrada y, por tanto, determina lo que es familiar y lo que es novedoso, y quizás excitante.

El punto de referencia, basado en la experiencia anterior, se convierte en un punto de referencia para evaluar la experiencia actual y futura, y se sesga o ajusta según la experiencia en curso. Para mantener la estabilidad a medida que nos enfrentamos a los acontecimientos de la vida, debemos realizar ajustes que nos devuelvan al punto de ajuste "familiar". Estos ajustes requieren que realicemos una "acción", que puede ser una acción externa (es decir, un control de algún tipo sobre el entorno externo) o un ajuste interno (es decir, el autocontrol de nuestro entorno interno). Dado que nuestros sistemas psicofisiológicos están diseñados para mantener la estabilidad y resistirse al cambio, volver a los puntos de ajuste conocidos nos da una sensación y un sentimiento de seguridad, mientras que permanecer en un territorio desconocido provoca malestar. Curiosamente, esto es cierto incluso si el punto de ajuste establecido es uno de caos y confusión.

Atención

No es posible tener conciencia de nada, incluidas nuestras emociones, hasta que haya captado nuestra atención. Las neuronas sensoriales de nuestros ojos, oídos, nariz y cuerpo están en continua acción, día y noche, estemos despiertos o dormidos. El cerebro recibe un flujo constante de información sobre todos los acontecimientos que los órganos sensoriales son capaces de detectar. Sería desconcertante que fuéramos conscientes continuamente de toda la información que nos llega. De hecho, ignoramos completamente la mayor parte de la información que llega al cerebro la mayor parte del tiempo. Sin embargo, cualquier entrada es capaz de desplazar y dominar nuestra atención. Para que este proceso funcione, deben existir mecanismos y procesos que dirijan la atención selectiva. Los mecanismos de atención deben escudriñar continuamente la información disponible y asignar una prioridad, normalmente basada en la importancia biológica. Los sucesos grandes, repentinos y novedosos suelen tener la capacidad de captar nuestra atención. Las emociones también tienen la capacidad de captar y centrar la atención, y la atención está implicada en la gestión de nuestro estado emocional.

En 1890, William James describió así la atención:

> *Todo el mundo sabe lo que es la atención. Es tomar posesión de la mente, de forma clara y vívida, de uno de los que parecen varios objetos o trenes de pensamiento posibles simultáneamente. La focaliza-*

ción, la concentración de la conciencia, son su esencia. Implica apartarse de algunas cosas para ocuparse eficazmente de otras, y es una condición que tiene un verdadero opuesto en el estado confuso, aturdido, disperso...[81] *(pp. 403-404)*

Muchos laboratorios de todo el mundo han investigado las estructuras cerebrales implicadas en la conciencia y la atención. En general, ha habido dos enfoques en la investigación de la atención: (1) el registro de respuestas fisiológicas o conductuales sobre un fondo de acontecimientos sensoriales regulares y repetitivos y (2) el emparejamiento del resultado de la respuesta a los acontecimientos sensoriales.

Cuando se presenta un nuevo estímulo al cerebro, se produce un cambio de actividad en los sistemas nerviosos central y autónomo. Si la respuesta es de corta duración (1-3 segundos), se denomina reflejo orientador de excitación. Sin embargo, si el estímulo o acontecimiento es recurrente, el cerebro se adapta rápidamente y nos habituamos. Por ejemplo, las personas que viven en una ciudad ruidosa se adaptan al ruido ambiental y acaban por no darse cuenta. Sin embargo, cuando hacen un viaje al campo tranquilo, la falta de ruido les parece extraña y notable. Así, cualquier cambio en el estímulo provocará la reaparición de la respuesta de excitación, o reflejo de orientación. Por tanto, la reacción de excitación refleja un desajuste entre la nueva información y la representación familiar almacenada en el cerebro. Se puede medir un cambio en los potenciales cerebrales durante la respuesta de excitación a un estímulo nuevo, y se denomina negatividad de desajuste. [82] Los cambios observados en el sistema nervioso pueden separarse en un componente fásico, que se habitúa rápidamente, y un componente tónico de larga duración, que se habitúa más lentamente.[83]

James, y más recientemente Pribram y McGuiness, también distinguieron dos tipos de atención. Pribram y McGuiness los denominaron involuntarios y voluntarios. La atención primaria involuntaria, como la denominó James, es provocada por ciertas clases de estímulos que son novedosos, salientes o intensos, que inciden en nuestra conciencia independientemente de la actividad en curso. La atención voluntaria, en cambio, describe el proceso por el que el individuo determina voluntariamente el contenido de su propia conciencia y la duración de la atención. En el modelo de Pribram y McGuiness, la distinción entre atención involuntaria y voluntaria identifica dos aspectos del control atencional: uno regula la excitación resultante de un desajuste en la entrada sensorial; el otro controla la activación preparatoria de las respuestas potenciales. Además, hay un tercer aspecto de la atención que sirve para coordinar la excitación involuntaria y la activación voluntaria, y este aspecto de la atención requiere esfuerzo.[2]

El emparejamiento de patrones y el mantenimiento de la estabilidad

En su libro Los planes y la estructura del comportamiento, Miller, Galanter y Pribram proponen que, para que un organismo mantenga una estabilidad continuada, debe ser capaz de mantener una correspondencia entre su experiencia actual o “realidad” y sus puntos de ajuste y programas neuronales y hormonales. [84] Estos programas consisten en jerarquías de bucles de retroalimentación neuronal anidados que mantienen recuerdos de experiencias, respuestas y resultados familiares. Las incongruencias o diferencias en la entrada (nuevas experiencias) nos despiertan o activan según el grado de desajuste y, en la mayoría de los casos, determinan la acción necesaria para restablecer la estabilidad. Cuando las diferencias (desajuste) son de suficiente magnitud, se produce una discontinuidad temporal; y lo que es más importante, es esta discontinuidad o desajuste -en realidad, un alejamiento de lo familiar- lo que da lugar a la experiencia de la emoción. En este contexto, es interesante señalar que la palabra “emoción” deriva del latín “emovere”, que significa “salir o alejarse”.

Pribram, en su libro “Languages of the Brain”, lleva la teoría más allá. Cuando la entrada al cerebro no coincide con el programa existente, hay que hacer un ajuste para intentar conseguir el control y volver a la estabilidad. Una forma de restablecer el control es realizar una acción externa. Estamos motivados para comer si sentimos hambre, huir o luchar si nos sentimos amenazados, hacer algo para llamar la atención si nos sentimos ignorados, etc. Por

confiaenlamarea@gmail.com

otra parte, podemos restablecer la estabilidad y ganar control realizando un ajuste interno (sin ninguna acción manifiesta). Por ejemplo, un enfrentamiento en el trabajo puede provocar sentimientos de ira, que pueden dar lugar a un comportamiento inadecuado (es decir, acciones externas como gritar, pegar, etc.). Sin embargo, mediante ajustes internos, podemos autogestionar nuestros sentimientos para inhibir estas respuestas, restablecer la estabilidad y mantener nuestro trabajo.

Así, la estabilización se consigue mediante la acción externa sobre el entorno o mediante el autocontrol interno. Estos procesos se denominan, respectivamente, control motivacional y control emocional. En última instancia, cuando logramos la estabilidad mediante nuestros esfuerzos, los resultados son sentimientos de satisfacción y gratificación. Por el contrario, cuando no se consigue la estabilidad o el control, se producen sentimientos como la ansiedad, el pánico, la molestia, la aprensión, la desesperanza o la depresión. Pribram y muchos otros han llevado a cabo numerosos experimentos que aportan pruebas de que este tipo de ajustes internos, aunque son habituales, representan una compleja interacción entre procesos periféricos y centrales. Por ejemplo, los sistemas de entrada aferentes, e incluso sus receptores, son modulados por el sistema nervioso central, que altera el procesamiento de la información en el canal de entrada sensorial.[86] En otras palabras, los centros cerebrales superiores pueden inhibir o "cerrar" la información que llega al cerebro. Hay muchos ejemplos de cómo podemos controlar los canales de entrada. El lugar en el que centramos nuestra atención tiene un poderoso efecto en la modulación de las entradas y, por tanto, en la determinación de lo que se procesa en los niveles superiores. En una habitación ruidosa llena de muchas conversaciones, tenemos la capacidad de desintonizar el ruido y centrarnos en una sola conversación de interés. Del mismo modo, podemos modular el dolor de un dedo del pie o de un dolor de cabeza, o desensibilizarnos a sensaciones como las cosquillas.

Excitación

Existe un amplio apoyo a la idea de que la excitación, medida como desincronización del EEG, se produce en respuesta a una información nueva o desconocida, y que la excitación es uno de los elementos de la experiencia emocional. En los modelos clásicos de la teoría de la excitación, la cantidad de actividad neuronal y/u hormonal generada en respuesta a un estímulo o acontecimiento dado determina si la experiencia conduce a la familiarización o a la perturbación. La teoría de la excitación afirma que existe una correlación entre la cantidad de una hormona específica o la cantidad de excitación neuronal y la cantidad de excitación emocional.

Sin embargo, esto es sólo una parte de la historia. La excitación puede asociarse a veces con un aumento de la cantidad de actividad neuronal, pero la excitación también puede producirse sin ningún aumento de la actividad neuronal. En este último caso, lo que cambia, en cambio, es el patrón de actividad del sistema nervioso (por ejemplo, las variaciones en los intervalos de tiempo entre los disparos secuenciales de una neurona o grupo de neuronas, o en qué vías eferentes están activas). Por lo tanto, la cantidad de actividad neuronal no siempre indica necesariamente el nivel de excitación.[80] Esta es una constatación importante, ya que desplaza el foco de atención de pensar sólo en la cantidad de actividad a comprender la importancia del patrón de actividad. Esto también está relacionado con la observación de que las diferentes emociones se reflejan en los patrones del ritmo cardíaco. Por ejemplo, durante un cambio de estado emocional, el patrón de variabilidad del ritmo cardiaco entre latidos puede cambiar drásticamente, mientras que la cantidad de variabilidad sigue siendo exactamente la misma. Esto no implica que los cambios en la cantidad de actividad neuronal o la cantidad de variabilidad del ritmo cardíaco no sean también fuentes importantes de información que contribuyen a la experiencia emocional en curso. Sin embargo, en el contexto más amplio del modelo que aquí se presenta, tales variaciones pueden considerarse también como cambios de patrón en relación con una línea de base o punto de referencia conocido.

El papel del corazón

Controlar las alteraciones de las tasas, ritmos y patrones del tráfico aferente es una función clave de los sistemas cortical y emocional del cerebro. Pribram era muy consciente de la influencia de la entrada aferente del corazón y de otros sistemas orgánicos en la determinación de los puntos de ajuste, o de lo que se convierte en el patrón familiar, ya en 1969, cuando escribió:

> *La retroalimentación visceral constituye, por la naturaleza de su anatomía receptora y su organización aferente difusa, una fuente importante de entrada a este mecanismo de sesgo; es una entrada que puede hacer mucho para determinar el punto de ajuste. Además, los eventos cardiovasculares y autonómicos son repetitivamente redundantes en la historia del organismo. Varían de forma recurrente, dando lugar a habituaciones estables; esto contrasta con los cambios externos que varían de una ocasión a otra. La habituación a la actividad visceral y autonómica constituye, por tanto, una gran parte... de la línea de base estable de la que pueden partir las reacciones del organismo.*[80] *(p. 322)*

Estos puntos de referencia establecen un fondo sobre el que se inician y mantienen la presión sanguínea, el equilibrio hormonal y todos los comportamientos que se repiten regularmente. Por ejemplo, cuando percibimos un desajuste entre nuestra frecuencia cardíaca real y la frecuencia cardíaca habituada, generamos un sentimiento (por ejemplo, excitación o ansiedad si la frecuencia cardíaca está acelerada). La sensación específica experimentada puede reflejar la naturaleza del desajuste. Es importante destacar que un desajuste puede registrarse no sólo debido a los cambios en la frecuencia cardíaca, sino también a los cambios en el patrón del tráfico aferente.

Aunque en los procesos que determinan en última instancia la experiencia emocional intervienen entradas procedentes de muchos órganos y sistemas corporales diferentes, ha quedado claro que el corazón desempeña un papel especialmente importante. El corazón es la fuente principal y más consistente de patrones rítmicos dinámicos en el cuerpo. Además, las redes aferentes que conectan el corazón y el sistema cardiovascular con el cerebro son mucho más extensas que los sistemas aferentes asociados a otros órganos principales. Además, el corazón es especialmente sensible y receptivo a los cambios de otros sistemas psicofisiológicos. Por ejemplo, los patrones del ritmo cardíaco se modulan continua y rápidamente por los cambios en la actividad de cualquiera de las ramas del SNA, y la extensa red intrínseca de neuronas sensoriales del corazón también le permite detectar y responder a las variaciones en los ritmos y patrones hormonales.[87] Además de funcionar como un sofisticado centro de procesamiento y codificación de la información,[88] el corazón es también una glándula endocrina que produce y secreta hormonas y neurotransmisores.[89-92] Así, con cada latido, el corazón no sólo bombea sangre, sino que también transmite continuamente patrones dinámicos de información neurológica, hormonal, de presión y electromagnética al cerebro y a todo el cuerpo.[93] Por tanto, las múltiples entradas del corazón y del sistema cardiovascular al cerebro contribuyen en gran medida a establecer la dinámica del patrón de referencia o punto de referencia con el que se compara el “ahora” (entrada actual).

Los patrones rítmicos repetitivos generados por el corazón ya sean ordenados o desordenados, se vuelven familiares para el cerebro. En el nivel del tronco cerebral, estos patrones se comparan con puntos de referencia que controlan la presión sanguínea, afectan a la frecuencia respiratoria y regulan el flujo de actividad en las ramas descendentes del sistema autónomo. Desde ahí, estas señales suben en cascada hasta una serie de centros subcorticales, como el tálamo, el hipotálamo y la amígdala, que participan en el procesamiento de la emoción. Al comprender que el sistema emocional funciona esencialmente como un sistema de reconocimiento de patrones, es fácilmente comprensible el hallazgo de que una proporción significativa de personas diagnosticadas de trastorno de pánico tienen en realidad una arritmia auricular no reconocida. Cuando se produce una arritmia repentina, se produce un cambio grande y repentino en el patrón de las señales aferentes que llegan a la amígdala y el hipocampo, lo que da lugar a un desajuste significativo entre la entrada actual y el patrón familiar y estable. El sistema es incapaz de lograr la estabilidad mediante una acción externa o mediante un ajuste interno; por tanto, el desajuste capta la atención y da lugar a sentimientos de miedo y ansiedad, que se convierten en pánico. En los

confiaenlamarea@gmail.com

casos en los que la arritmia es constante o se produce con mayor frecuencia, el sistema se adapta o se habitúa, es decir, el nuevo patrón de entrada se vuelve familiar.

Por otra parte, un cambio en el patrón de entrada cardiovascular aferente que acompaña a un ritmo cardíaco más coherente u ordenado, como los que se producen con ciertas técnicas de respiración o el uso de herramientas HeartMath centradas en la emoción positiva, da lugar a una "coincidencia de patrones" asociada a la seguridad y a la experiencia emocional positiva. Estos ritmos coherentes son familiares para un sistema "sano", ya que se han producido espontáneamente muchas veces durante el sueño y los estados emocionales positivos. Sin embargo, en muchos individuos, un patrón coherente es raro y relativamente desconocido para el cerebro. En este caso, con la práctica de los ritmos coherentes autogenerados, se convierten en el patrón de base familiar y el que el sistema intenta mantener.

Inestabilidad emocional

Cuando los sistemas neuronales que mantienen los patrones de referencia de la línea de base se encuentran en un estado inestable (debido al estrés, la ansiedad, los estimulantes químicos, etc.), la entrada sensorial de fuentes internas o externas que normalmente se procesaría sin problemas puede percibirse como un desajuste y dar lugar a una sensación de malestar. Así, los patrones de actividad neuronal en el cerebro pueden predisponer eficazmente al individuo hacia la estabilidad o la inestabilidad. Los patrones de referencia pueden desestabilizarse temporalmente por cambios grandes y repentinos en el patrón de actividad aferente, como los que se producen en el ejemplo de una arritmia de inicio repentino o durante una situación con carga emocional. Si un patrón de referencia se desestabiliza, se puede percibir un desajuste incluso en ausencia de una entrada novedosa. Esto explica por qué podemos tener una interacción molesta con nuestro cónyuge, y aunque las cosas se hayan suavizado y el suceso se haya olvidado conscientemente, posteriormente podríamos desencadenarnos por lo que percibimos como una mirada divertida de un compañero de trabajo al llegar a la oficina. Fisiológicamente, la inestabilidad sigue en nuestro sistema. En circunstancias normales, la mirada habría pasado desapercibida. Del mismo modo, si hubiéramos sido capaces de estabilizar nuestros sistemas neuronales limpiando los residuos emocionales de camino al trabajo, la mirada del compañero de trabajo no nos habría despistado.

Además de los procesos que supervisan la entrada y los controles para mantener la estabilidad (coincidencia de patrones) en el aquí y ahora, también hay procesos de coincidencia que valoran el grado de congruencia o incongruencia entre el pasado y el ahora y entre el ahora y el futuro proyectado. Además, estas valoraciones prospectivas pueden dividirse en optimistas y pesimistas.[94] Si la valoración no da como resultado una capacidad proyectada para volver a la estabilidad, pueden aparecer sentimientos de miedo y ansiedad. Esta valoración puede deberse a la experiencia pasada de situaciones similares o a la falta de experiencia en la situación futura proyectada. Sin embargo, cuando nos encontramos con situaciones nuevas y aprendemos que somos capaces de mantener la estabilidad, podemos aplicar esa experiencia a situaciones futuras similares sin miedo.

Pribram afirma que cuando un sistema homeostático se estabiliza y un nuevo patrón se ha vuelto familiar, se desarrollan nuevas sensibilidades y se añaden diferentes estrategias y programas para manejar las sensibilidades adquiridas.[95] En esencia, maduramos. Enfrentarse a situaciones u obstáculos novedosos requiere que desarrollemos nuevas estrategias: o bien emprendemos una acción externa para obtener el control o bien autogestionamos nuestros sistemas internos. Una vez que aprendemos a manejar el nuevo reto con eficacia y a mantener la estabilidad, la estrategia (patrón complejo) para afrontar el reto se vuelve familiar y forma parte de nuestro repertorio. A través de este proceso, aumentamos nuestro autocontrol interno y la gestión de las emociones, así como nuestra capacidad para afrontar eficazmente las situaciones externas.

Los patrones de referencia mantenidos en la arquitectura neuronal se modifican por otras fuentes de entrada neuronal y hormonal que afectan al "sesgo" o sensibilidad del sistema. Como los sistemas neuronales que participan en la comparación de la información sensorial entrante están formados por fibras cortas y finas con muchas ramificaciones, son especialmente sensibles a las influencias hormonales. Así, el sistema se ve fácilmente afectado por los cambios en los patrones de entrada hormonal asociados a los diferentes estados psicofisiológicos. De este modo, las hormonas ejercen una importante influencia en los procesos cerebrales que intervienen en la experiencia de la emoción.

La creación de las emociones: Una visión convergente

En resumen, podemos ver que las teorías anteriores de la emoción, junto con la investigación actual, convergen en una visión más completa y global de las emociones. La investigación endocrina hizo avanzar significativamente la visión anterior de las emociones como "humores". La teoría visceral reconocía un mecanismo de excitación que proporciona sensaciones de interés, novedad y familiaridad, así como interrupciones más dolorosas de los estados estables. James hizo hincapié en la comunicación de las respuestas corporales al cerebro. La teoría talámica de Cannon contribuyó ofreciendo pruebas de que el tálamo es un lugar primordial para procesar la información emocional de los sistemas químicos homeostáticos del cuerpo. Papez y MacLean introdujeron la idea de circuitos y sistemas emocionales en lugar de un único centro y añadieron la posibilidad de un componente de memoria al sistema emocional. Con el control cortical de Pribram de la entrada aferente y la supervisión de una desviación de los patrones estables y familiares, queda claro que tanto el cerebro como todo el cuerpo están implicados en la experiencia y expresión completas de las emociones

Teniendo en cuenta esto, podemos considerar que la experiencia de la emoción surge de un intrincado conjunto de interacciones que se producen dentro de un sistema complejo. En términos generales, sus principales componentes son el cerebro y el sistema nervioso, el sistema hormonal y el cuerpo. Aunque hay numerosas fuentes de entrada corporal al cerebro, se da especial relevancia al corazón en el sistema emocional debido a su grado único de entrada aferente y a su generación constante de patrones rítmicos dinámicos que están estrechamente relacionados con los cambios en el estado emocional. Desde una perspectiva generalizada, una de las formas en que se genera una emoción es a través de la comparación de la información recibida de los sistemas sensoriales externos (por ejemplo, imágenes, sonidos y olores) con los recuerdos preexistentes. Este procesamiento se produce a niveles inconscientes, a menos que se capte la atención, y da lugar a cambios en los patrones de la actividad autonómica descendente que fluye hacia el cuerpo. Esto conduce a una amplia variedad de cambios específicos en las salidas bioquímicas y los estados biofísicos, como alteraciones en los patrones de tensión muscular (especialmente en la cara), las secreciones suprarrenales, la resistencia vascular, el gasto cardíaco y los ritmos cardíacos. Estas alteraciones, a su vez, provocan cambios en las entradas aferentes del cuerpo hacia el cerebro, que se comparan con un conjunto de patrones de referencia preexistentes. Esta entrada corporal ascendente es crucial para la experiencia sentida de una emoción, y puede o no reforzar la valoración y el etiquetado del sentimiento a nivel cognitivo. El proceso continúa a medida que el sistema realiza ajustes externos e internos para mantener la estabilidad y, dependiendo del resultado, puede colorear y añadir texturas a la experiencia emocional. Por supuesto, éste es sólo un ejemplo, ya que el proceso también puede iniciarse sólo por cambios en los sistemas internos, así como a través de muchas combinaciones de las interacciones de los sistemas sensoriales internos y externos con los patrones de referencia y los recuerdos.

En el contexto del modelo de la emoción desarrollado aquí, también podemos obtener nuevos conocimientos sobre los mecanismos que subyacen a la eficacia de las técnicas de reestructuración emocional de HeartMath, que producen un cambio positivo impulsado por la emoción en los patrones rítmicos del corazón y, por tanto, un cambio en el patrón de la entrada aferente cardíaca al cerebro. El acoplamiento de un patrón más organizado de entrada aferente con una emoción positiva autogenerada intencionadamente refuerza el condicionamiento natural

confiaenlamarea@gmail.com

entre el modo fisiológico coherente y la emoción positiva. Esto refuerza posteriormente la capacidad de un cambio emocional positivo para iniciar un cambio fisiológico hacia una mayor coherencia, y un cambio fisiológico para facilitar la experiencia de una emoción positiva.

Desde la perspectiva presentada en este artículo, las intervenciones de HeartMath afectan a varios aspectos del proceso emocional. En primer lugar, al reducir el caos del sistema nervioso, estabilizan los sistemas neuronales que mantienen la línea de base o los patrones de referencia con los que se compara la información entrante. También modifican los patrones de referencia reforzando los patrones psicofisiológicos coherentes asociados a las emociones positivas y permitiendo que estos patrones se familiaricen, estableciendo así de forma efectiva un nuevo patrón de referencia o norma. Una vez establecido este nuevo patrón de referencia, el sistema se esfuerza automáticamente por mantener este estado. Con la práctica de estas técnicas, a medida que la arquitectura neural llega a reconocer los patrones asociados a los ritmos cardíacos coherentes como familiares, se hace progresivamente más fácil generar intencionadamente ritmos coherentes y sus beneficios psicofisiológicos, incluso durante experiencias de estrés o desafío. Además, hemos demostrado que, a medida que las personas siguen practicando la autogeneración intencionada de estados de coherencia psicofisiológica mediante técnicas basadas en el corazón, también empiezan a demostrar una mayor frecuencia de coherencia espontánea del ritmo cardíaco, sin el uso consciente de las intervenciones. Estos datos apoyan el concepto de que las técnicas facilitan un proceso real de reordenación a nivel de la arquitectura neural, que puede evaluarse objetivamente mediante medidas electrofisiológicas.

En resumen, el uso constante de técnicas centradas en la emoción positiva basadas en el corazón refuerza las vías neuronales existentes que el cerebro utiliza para controlar su entrada (autogestión) y facilita el establecimiento de nuevas vías de control, mejorando así nuestra capacidad para autogestionar nuestras emociones y regular nuestro estado fisiológico. Experimentalmente, la ocurrencia de un proceso de repatrimonialización de todo el sistema con el uso constante de las intervenciones de HeartMath está respaldada por los informes de miles de personas que han observado mejoras duraderas en muchos aspectos de la salud, el bienestar y el rendimiento, una mayor estabilidad emocional y nuevas capacidades para afrontar el estrés y los retos. En un sentido muy real, nos convertimos en los arquitectos de nuestro propio paisaje neural.

Agradecimientos

Me gustaría expresar mi agradecimiento al Dr. Karl Pribram por su cuidadosa revisión de esta monografía y su perspicaz aportación a su contenido.

Referencias

1. Goleman D. Working with Emotional Intelligence New York: Bantam Books, 1998.

2. Pribram KH, McGuinness D. Arousal, activation, and effort in the control of attention. Psychological Review 1975;82(2):116-149.

3. LeDoux JE. Cognitive-emotional interactions in the brain. In: Ekman P, Davidson RJ, eds. The Nature of Emotion: Fundamental Questions. New York: Oxford University Press, 1994: 216-223.

4. LeDoux J. The Emotional Brain: The Mysterious Underpinnings of Emotional Life. New York: Simon and Schuster, 1996

5. Pert CB, Dreher HE, Ruff MR. The psychosomatic network: Foundations of mind-body medicine. Alternative Therapies in Health and Medicine 1998;4(4):30-41.

6. Damasio AR. The Feeling of What Happens. Orlando, FL: Harcourt, 1999.

7. Damasio AR. Descartes' Error: Emotion, Reason and the Human Brain. New York: G.P. Putnam's Sons, 1994.

8. Bower GH. Mood-congruity of social judgements. In: Forgas J, ed. Emotions and Social Judgements. Oxford: Pergamon, 1990.

9. Bower GH. How might emotions affect learning? In: Christianson SA, ed. The Handbook of Emotion and Memory: Research and Theory. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum, 1992: 3-31.

10. Clore GC. Why emotions are felt. In: Ekman P, Davidson RJ, eds. The Nature of Emotion: Fundamental Questions. New York: Oxford University Press, 1994: 103-111.

11. Descartes R. Treatise on the Passions of the Soul In: Haldane E, Ross G, trans. The Philosophical Works of Descartes. Cambridge: Cambridge University Press, 1649.

12. McCraty R, Childre D. The appreciative heart: The psychophysiology of positive emotions and optimal functioning. Boulder Creek, CA: HeartMath Research Center, Institute of HeartMath, Publication No. 02-026, 2002.

13. Childre D, Martin H. The HeartMath Solution San Francisco: HarperSanFrancisco, 1999.

14. Childre D, Rozman D. Overcoming Emotional Chaos: Eliminate Anxiety, Lift Depression and Create Security in Your Life. San Diego: Jodere Group, 2002.

15. Tiller WA, McCraty R, Atkinson M. Cardiac coherence: A new, noninvasive measure of autonomic nervous system order. Alternative Therapies in Health and Medicine 1996;2(1):52-65.

16. Pribram KH. Emotions: A neurobehavioral analysis. In: Scherer KR, Ekman P, eds. Approaches to Emotion Hillsdale, NJ: Erlbaum, 1984.

17. James W. What is an emotion? Mind 1884; 9(34): 188-205.

18. Ellsworth PC. William James and emotion: Is a century of fame worth a century of misunderstanding? Psychological Review 1994; 101(2):222-229.

19. Cannon WB. The James-Lange theory of emotion: A critical examination and an alternative theory. American Journal of Psychology 1927;39: 106-124.

20. Marshall LH, Magoun HW. Discoveries in the Human Brain. Totowa, NJ: Humana Press, 1998.

21. Cannon WB. Bodily Changes in Pain, Hunger, Fear and Rage: An Account of Recent Researches into the Function of Emotional Excitement, 2nd edition. New York: D. Appleton & Company, 1929.

22. Lindsley DB. Emotion. In: Stevens SS, ed. Handbook of Experimental Psychology. New York: Wiley, 1951: 473-516.

23. Papez JW. A proposed mechanism of emotion. Archives of Neurological Psychiatry 1937;38: 725-743.

24. Hess WR. Diencephalon: Autonomic and Extrapyramidal Functions. New York: Grune & Stratton, 1954.

25. Lashley KS. The thalamus and emotion. In: Beach FA, Hebb DO, Morgan CT, Nissen HS, eds. The Neurospsychology of Lashley. New York: McGraw-Hill, 1960.

26. MacLean PD. Psychosomatic disease and the "visceral brain": Recent developments bearing on the Papez

theory of emotion. Psychosomatic Medicine 1949; 11:338-353.

27. MacLean PD. Some psychiatric implications of physiological studies on frontotemporal portion of limbic system (visceral brain). Electroencephalography and Clinical Neurophysiology 1952;4:407-418.

28. MacLean PD. The triune brain, emotion and scientific bias. In: Schmitt FO, ed. The Neurosciences: Second Study Program. New York: Rockefeller University Press, 1970: 336-349

29. MacLean PD. The Triune Brain in Evolution: Role in Paleocerebral Functions. New York: Plenum, 1990.

30. Butler AB, Hodos W. Comparative Vertebrate Neuroanatomy: Evolution and Adaptation. New York: WileLiss, 1996

31. Flanigan S, Gabrieli ER, MacLean PD. Cerebral changes revealed by radioautography with S35-labeled l-methionine. Archives of Neurological Psychiatry 1957; 77:588-594.

32. Kaada BR, Pribram KH, Epstein JA. Respiratory and vascular responses in monkeys from temporal pole, insula, orbital surface and cingulate gyrus. Journal of Neurophysiology 1949;12:347-356.

33. Seung HS. Half a century of Hebb. Nature Neuroscience 2000; 3:1166.

34. Abbott LF, Nelson SB. Synaptic plasticity: Taming the beast. Nature Neuroscience 2000; 3:1178-1183.

35. Green E, quoted in CB Pert, Molecules of Emotion New York: Scribner, 1997, p. 137.

36. Schachter S, Singer JE. Cognitive, social, and physiological determinants of emotional state. Psychological Review 1962;69:379-399.

37. Gellhorn E, Loofbourrow GN. Emotions and Emotional Disorders: A Neurophysiogical Study. New York: Harper & Row, 1963.

38. Malmo RB, Shagass C, Davis FH. Symptom specificity and bodily reactions during psychiatric interview. Psychosomatic Medicine 1950; 12:362-376.

39. Ax AF. The physiological differentiation between fear and anger in humans.

Psychosomatic Medicine 1953; 15: 433-442

40. Schachter J. Pain, fear, and anger in hypertensives and normotensives: A psychophysiological study. Psychosomatic Medicine 1957; 15:17-29.

41. Graham DT, Stern JA, Winokur G. Experimental investigation of the specificity of attitude hypothesis in psychosomatic disease. Psychosomatic Medicine 1958; 20:446-457.

42. Levenson RW, Ekman P, Friesen WV. Voluntary facial action generates emotion-specific autonomic nervous system activity. Psychophysiology 1990; 27:363-384.

43. Ekman P, Levenson RW, Friesen WV. Autonomic nervous system activity distinguishes among emotions. Science 1983; 221(4616):1208-1210.

44. Hubert W, de Jong-Meyer RD. Psychophysiological response patterns to positive and negative film stimuli. Biological Psychology 1991; 31(1):73-93.

45. Collet C, Vernet-Maury E, Delhomme G, Dittmar A. Autonomic nervous system response patterns specificity to basic emotions. Journal of the Autonomic Nervous System 1997; 62:45-57.

46. Sinha R, Lovallo WR, Parsons OA. Cardiovascular differentiation of emotions.

Psychosomatic Medicine 1992; 54(4): 422-435.

47. Leek BF. Abdominal visceral receptors. In: Neil E, ed. Handbook of Sensory Physiology, Vol. 3. Heidelberg: Springer, 1972: 113-160.

48. Andrews PLR. Vagal afferent innervation of the gastrointestinal tract. Progress in Brain Research 1986; 67:65-86.

49. Neundörfer B, Hilz MJ. Ludwig Robert Müller (1870-1962) – A pioneer of autonomic nervous system research. Clinical Autonomic Research 1998; 8:1-5.

50. Müller LR. Ueber die Beziehung von seelischen Empfindungen zu Herzstörungen. Münchner Medizinische Wochenschrift 1906; 53:14-16.

51. Heymans C, Neil E. Reflexogenic Areas of the Cardiovascular System. Boston: Little, Brown, 1958.

52. Lacey JI, Lacey BC. Some autonomic-central nervous system interrelationships. In: Black P, ed. Physiological Correlates of Emotion. New York: Academic Press, 1970: 205-227.

53. Bonvallet M, Allen MB. Prolonged spontaneous and evoked reticular activation following discrete bulbar lesions. Electroencephalography and Clinical Neurophysiology 1963; 15:969-988.

54. Gahery Y, Vigier D. Inhibitory effects in the cuneate nucleus produced by vagoaortic afferent fibers. Brain Research 1974; 75:241-246.

55. Randich A, Gebhart GF. Vagal afferent modulation of nociception. Brain Research Reviews 1992; 17:77-99.

56. Drinkhill MJ, Mary DA. The effect of stimulation of the atrial receptors on plasma cortisol level in the dog. Journal of Physiology 1989; 413:299-313.

57. Rau H, Pauli P, Brody S, Elbert T. Baroreceptor stimulation alters cortical activity. Psychophysiology 1993; 30: 322-325.

58. Sandman CA, Walker BB, Berka C. Influence of afferent cardiovascular feedback on behavior and the cortical evoked potential. In: Cacioppo JT, Petty RE, eds. Perspectives in Cardiovascular Psychophysiology. New York: The Guilford Press, 1982: 189-222.

59. van der Molen MW, Somsen RJM, Orlebeke JF. The rhythm of the heart beat in information processing. In: Ackles PK, Jennings JR, Coles MGH, eds. Advances in Psychophysiology, Vol. 1. London: JAI Press, 1985: 1-88.

60. Schandry R, Montoya P. Event-related brain potentials and the processing of cardiac activity. Biological Psychology 1996; 42:75-85.

61. Montoya P. Herzwahrnehmung und hirnelektrische Aktivität. Eine Analyse der topographischen Verteilung von herzschlag-synchron evozierten Potentialen (HEP). Frankfurt/Main: Peter Lang, 1994.

62. Rosenfeld SA. Conversations between heart and brain Rockville, MD: National Institute of Mental Health, 1978.

63. Lacey JI. Psychophysiological approaches to the evaluation of psychotherapeutic process and outcome. In: Rubinstein E, Parloff M, eds. Research in Psychotherapy Washington, DC: American Psychological Association, 1959: 160-208.

64. Lacey JI, Kagan J, Lacey BC, Moss HA. The visceral level: Situational determinants and behavioral correlates of autonomic response patterns. In: Knapp PH, ed. Expression of the Emotions in Man. New York: International Universities Press, 1963: 161-196.

65. Lacey JI. Somatic response patterning and stress: Some revisions of activation theory. In: Appley MH, Trumbull R, eds. Psychological Stress: Issues in Research. New York: Appleton-Century-Crofts, 1967: 14-42.

66. Lacey BC, Lacey JI. Studies of heart rate and other bodily processes in sensorimotor behavior. In: Obrist PA, Black AH, Brener J, DiCara LV, eds. Cardiovascular Psychophysiology: Current Issues in Response Mechanisms, Biofeedback, and Methodology. Chicago: Aldine, 1974: 538-564.

67. Israel NR. Cognitive control and pattern of autonomic response. Paper presented at meeting of the Eastern Psychological Association, Washington, D.C., April, 1968.

68. Israel NR. Leveling-sharpening and anticipatory cardiac response. Psychosomatic Medicine 1969; 31:499-509.

69. Koriath JJ, Lindholm E. Cardiac-related cortical inhibition during a fixed foreperiod reaction time task. International Journal of Psychophysiology 1986; 4:183-195.

70. Walker BB, Sandman CA. Visual evoked potentials change as heart rate and carotid pressure change. Psychophysiology 1982; 19(5):520-527.

71. Schandry R, Sparrer B, Weitkunat R. From the heart to the brain: A study of heartbeat contingent scalp potentials. International Journal of Neuroscience 1986; 30:261-275.

72. Montoya P, Schandry R, Muller A. Heartbeat evoked potentials (HEP): Topography and influence of cardiac awareness and focus of attention. Electroencephalography and Clinical Neurophysiology 1993; 88:163-172.

73. Schandry R, Leopold C. The severity of diabetic autonomic neuropathy is reflected in the heartbeat evoked brain potential [abst.]. Clinical Autonomic Research 1997; 7(5): 249-250.

74. Lessmeier TJ, Gamperling D, Johnson-Liddon V, Fromm BS, Steinman RT, Meissner MD, Lehmann MH. Unrecognized paroxysmal supraventricular tachycardia: potential for mis-diagnosis as panic disorder. Archives of Internal Medicine 1997; 157:537-543.

75. McCraty R, Barrios-Choplin B, Rozman D, Atkinson M, Watkins AD. The impact of a new emotional self-management program on stress, emotions, heart rate variability, DHEA and cortisol. Integrative Physiological and Behavioral Science 1998; 33(2):151-170.

76. Aggleton JP, ed. The Amygdala: Neurobiological Aspects of Emotion, Memory and Mental Dysfunction. New York: Wiley-Liss, 1992.

77. Zhang JX, Harper RM, Frysinger RC. Respiratory modulation of neuronal discharge in the central nucleus of the amygdala during sleep and waking states. Experimental Neurology 1986; 91:193-207.

78. Frysinger RC, Harper RM. Cardiac and respiratory correlations with unit discharge in epileptic human temporal lobe. Epilepsia 1990;31(2):162-171.

79. Pribram KH, Bagshaw MH. Further analysis of the temporal lobe syndrome utilizing frontotemporal ablations. Journal of Comparative Neurology 1953; 99:347-375.

80. Pribram KH, Melges FT. Psychophysiological basis of emotion. In: Vinken PJ, Bruyn GW, eds. Handbook of Clinical Neurology. Amsterdam: North-Holland Publishing Company, 1969: 316-341.

81. James W. Principles of Psychology. New York: Holt, 1890

82. Näätänen R. Attention and Brain Function. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1992.

83. Sharpless S, Jasper H. Habituation of the arousal reaction. Brain 1956;79:655-680.

84. Miller GA, Galanter EH, Pribram KH. Plans and the Structure of Behavior. New York: Henry Holt & Co., 1960

85. Pribram KH. The new neurology and the biology of emotion: A structural approach. American Psychologist 1967; 22(10):830-838.

86. Pribram KH. Languages of the Brain. New York: Brandon House, 1971.

87. Armour JA. Peripheral autonomic neuronal interactions in cardiac regulation. In: Armour JA, Ardell JL, eds. Neurocardiology. New York: Oxford University Press, 1994: 219-244

88. Armour JA. Neurocardiology—Anatomical and functional principles. Boulder Creek: CA, HeartMath Research Center, Institute of HeartMath, Publication No. 03-011, 2003

89. Cantin M, Genest J. The heart as an endocrine gland. Scientific American

1986; 254(2):76-81.

90. Mukoyama M, Nakao K, Hosoda K, Suga S, Saito Y, Ogawa Y, Shirakami G, Jougasaki M, Obata K, Yasue H, et al. Brain natriuretic peptide as a novel cardiac hormone in humans. Evidence for an exquisite dual natriuretic peptide system, atrial natriuretic peptide and brain natriuretic peptide. Journal of Clinical Investigation 1991; 4:1402-1412.

91. Gutkowska J, Jankowski M, Mukaddam-Daher S, Mc-Cann SM. Oxytocin is a cardiovascular hormone. Brazilian Journal of Medical and Biological Research 2000; 33: 625-633.

92. Huang M-H, Friend DS, Sunday ME, Singh K, Haley K, Austen KF, Kelly RA, Smith TW. An intrinsic adrenergic system in mammalian heart. Journal of Clinical Investigation 1996;98(6):1298-1303.

93. McCraty R, Atkinson M. Psychophysiological coherence Boulder Creek, CA: HeartMath Research Center, Institute of HeartMath, Publication 03-016, 2003.

94. Pribram KH. Feelings as monitors. In: Arnold MB, ed. Feelings and Emotions. New York: Academic Press, 1970: 41-53.

95. Pribram KH. Reinforcement revisited: A structural view. In Jones MR, ed. Nebraska Symposium on Motivation Lincoln: University of Nebraska Press, 1963: 113-159.

El doctor Rollin McCraty es director de investigación del Centro de Investigación HeartMath en el Instituto de HeartMath. También es profesor adjunto en la Universidad de Clemson y profesor visitante en el Departamento de Medicina Familiar y Comunitaria de la Universidad de Alabama en Birmingham. Como psicofisiólogo, los intereses de investigación del Dr. McCraty incluyen la fisiología de la función óptima, centrándose en los mecanismos por los que las emociones influyen en los procesos cognitivos, el comportamiento y la salud, así como en la interconectividad global entre las personas y los sistemas energéticos de la Tierra. Los resultados de esta investigación se han aplicado al desarrollo de herramientas y tecnología para optimizar la salud, el rendimiento y la calidad de vida de las personas y las organizaciones. Es miembro del Instituto Americano del Estrés, es miembro de la Red Internacional de Neurocardiología, de la Sociedad Americana de Autonomía, de la Sociedad Pavloviana y de la Asociación de Psicofisiología Aplicada y Biofeedback, entre otras. El Dr. McCraty ha actuado como investigador principal en numerosos estudios de investigación de laboratorio que examinan los efectos de las emociones en las interacciones corazón-cerebro y en la función autonómica, cardiovascular, hormonal y del sistema inmunitario. También ha actuado como IP en varios estudios de campo para determinar los resultados de las intervenciones centradas en las emociones positivas y la retroalimentación del ritmo cardíaco en diversos entornos organizativos y educativos, así como en diversas poblaciones clínicas. El Dr. McCraty y su equipo de investigación participan regularmente en estudios de colaboración con otras instituciones científicas, médicas y educativas estadounidenses e internacionales; han trabajado en colaboración con grupos de investigación de la Universidad de Stanford, la Universidad de Wake Forest, la Marina y las Fuerzas Aéreas de EE.UU., el Instituto de Investigación Cardíaca de Miami y la Universidad de Postgrado de Claremont, entre muchos otros. Sus investigaciones se han publicado en revistas como el American Journal of Cardiology, el Journal of the American College of Cardiology, Stress Medicine, Biological Psychology y Integrative Physiological and Behavioral Science.