

# Biofeedback for Autonomic Nervous System (ANS) regulation

Arturo Morales Téllez, Mónica Tentori, Luis A. Castro

Published: 30 November 2021

## Abstract

Stress is a reaction of the body to external challenges, whether physical or psychological. In sport, there are stress factors that affect the athlete's performance. Lack of stress regulation mechanisms can be detrimental to the individual and collective performance of athletes. Biofeedback systems have shown promising clinical results in regulating athletes' stress for sports competitions. In this paper, we present the process performed for the creation of VANS, a virtual reality biofeedback system that supports stress management training in athletes. The progress obtained so far includes the design and development of VANS. A usability evaluation and proposed evaluation of VANS, as well as discussing future challenges.

## Keywords:

Biofeedback; Stress; Athletes; Autonomic Nervous System.

## 1 Introducción

El estrés es la aprensión de una amenaza percibida cognitivamente. Se manifiesta con síntomas físicos, así como psicológicos, cognitivos y emocionales. El estrés es el desequilibrio entre cómo una persona percibe su capacidad para dominar las demandas de una situación determinada y cuáles son las demandas [2]. Uno de los ámbitos en los que podemos encontrar situaciones de estrés es el deporte, en particular los atletas de alto rendimiento en las competiciones. Demasiado estrés puede ser perjudicial para el rendimiento de los atletas, ya que los altos niveles de emociones desagradables pueden interrumpir su capacidad para alcanzar el máximo rendimiento [1]. Los deportistas a veces experimentan más estrés cuando juegan a nivel internacional que cuando lo hacen a nivel de club, ya que perciben la competición internacional como algo más importante. Como resultado, experimentan estrés previo a la competición y ansiedad competitiva. Estos estados pueden

producir una autopercepción negativa y, por tanto, una reacción psicofisiológica negativa del organismo, que en conjunto puede manifestarse como respuestas de estrés. Algunas estrategias utilizadas para el tratamiento del estrés en el deporte son el uso de fármacos, ejercicios de relajación y sistemas de biorretroalimentación.

En los últimos años, los sistemas de biorretroalimentación se han hecho cada vez más populares debido a su probado éxito en el entrenamiento de la psicofisiología, la preparación psicofisiológica de los atletas para las competiciones deportivas [3]. El entrenamiento con biorretroalimentación ayuda a los atletas a disminuir el estrés y la ansiedad que manifiestan, a relajar sus músculos y a controlar sus respuestas autonómicas del SNA (Sistema Nervioso Autónomo). Sin embargo, desde sus inicios, el entrenamiento basado en la biorretroalimentación suele realizarse en el laboratorio o dentro de una clínica, lo que dificulta su uso y aprendizaje por parte de los deportistas. Además, los sistemas de biorretroalimentación son caros y requieren un especialista capacitado que no siempre está disponible. Nuestra hipótesis es que un sistema de realidad virtual (RV) podría ayudar a los atletas y a sus entrenadores a incorporar fácilmente el entrenamiento de biorretroalimentación en sus prácticas deportivas. En esta investigación, se presenta el proceso de diseño y el desarrollo de VANS (Virtual Autonomic Nervous System por sus siglas en inglés), un sistema de biorretroalimentación de RV diseñado para el entrenamiento de gestión del estrés en jugadores de fútbol americano.

## 2 Trabajo relacionado

En esta sección se mencionan en primer lugar los sistemas de biorretroalimentación que ayudan a controlar los niveles de estrés en los deportistas y, a continuación, se describen los que utilizan la RV para apoyar la gestión del estrés.

### 2.1 Sistemas de biorretroalimentación para la regulación del estrés

Los sistemas de biorretroalimentación han mostrado resultados positivos en el control del estrés y la ansiedad en diferentes poblaciones, como los deportistas. Por ejemplo, [4] demostró cómo un sistema de biorretroalimentación que utilizaba sensores de EMG (electromiografía), temperatura y GSR (respuesta galvánica de la piel) ayudó a 17 gimnastas a eliminar el estrés y la ansiedad durante su actuación.

El trabajo [5] investigó el efecto del entrenamiento de biorretroalimentación de la VFC (variabilidad del ritmo cardíaco)

---

Morales, Téllez Arturo., Castro, Luis A.  
Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON)  
Sonora, México.  
amt.nhx@gmail.com, luis.castro@acm.org

Tentori, Mónica  
CICESE  
Ensenada, México.  
mtentori@cicese.mx

(10 días, 20 minutos al día) en el rendimiento psicológico de 30 jugadores universitarios de baloncesto. El grupo observó un menor estrés y una correlación con un mejor rendimiento. [6] examinó el rendimiento de bateo de jugadores de béisbol de la escuela secundaria. Su estudio mostró una mejora del 60% en el grupo de biorretroalimentación de la VFC. [8] realizó un entrenamiento de biorretroalimentación para preparar con éxito a 15 atletas de élite para los Juegos Olímpicos de Vancouver 2010. [7] también entrenó a atletas en las Olimpiadas y utilizó la biorretroalimentación periférica y la neuro retroalimentación. Este conjunto de trabajos muestra que el entrenamiento con biorretroalimentación para la gestión del estrés ha demostrado ser eficaz para ayudar a los atletas a alcanzar sus objetivos y mejorar su rendimiento. Sin embargo, hay preguntas abiertas sobre los tipos de interfaces o retroalimentación apropiados para los atletas.

## 2.2 Biorretroalimentación y sistemas de RV

Existen pruebas de que el uso de un sistema de biorretroalimentación que implemente la RV puede ayudar a disminuir el estrés. Por ejemplo, [9] diseñó DEEP, un juego de RV que sitúa a los jugadores en un mundo submarino de fantasía en el que pueden moverse libremente. Además, DEEP proporciona una respiración personal y meditativa promoviendo la respiración diafragmática a través de biorretroalimentación. [10] llevó a cabo un estudio que exploraba la viabilidad y las posibles ventajas de utilizar un entorno natural de RV como forma inmersiva de proporcionar biorretroalimentación. Encontraron que tanto las versiones basadas en la RV como las tradicionales de HRVbiofeedback son igualmente eficaces para aumentar la VFC a corto plazo. Sin embargo, la aplicación basada en la RV se asoció con una mayor motivación y ayudó a los usuarios a mantener una mejor atención. Mientras tanto [11] desarrolló LifeTree. LifeTree es un juego de RV en el que el jugador controla el crecimiento de un árbol practicando la respiración con los labios fruncidos. 32 participantes jugaron a LifeTree y con el análisis de los datos recogidos, sugirieron varios temas clave para el diseño de juegos de respiración.

Aunque existen pruebas de que el uso de la RV puede ayudar a los deportistas a regular sus niveles de estrés, no se han presentado consideraciones de diseño ni sistemas creados bajo estas consideraciones para guiar el diseño de un sistema de biorretroalimentación que implemente la RV para entrenar a los deportistas a regular los niveles de estrés.

## 3 Objetivo de la investigación

Para resolver esos problemas, el objetivo general de esta tesis doctoral es: Evaluar un sistema de Biorretroalimentación adaptativo para la regulación del Sistema Nervioso Autónomo.

Los objetivos específicos son:

- Obj.1 Diseñar un sistema de biorretroalimentación adaptativo que apoye la regulación del sistema nervioso autónomo.
- Obj.2 Identificar y medir qué señales fisiológicas determinan una desregulación en el sistema nervioso autónomo para el sensado de las señales computacionales.
- Obj.3 Diseñar las mejores representaciones de cada una de las señales fisiológicas para una retroalimentación adecuada.
- Obj.4 Implementar y evaluar el impacto de un sistema de biorretroalimentación adaptativo en la regulación del Sistema Nervioso Autónomo.

## 4 Metodología

La metodología que nosotros estamos utilizando es la siguiente (Figura 1) y la podemos dividir en 4 fases.

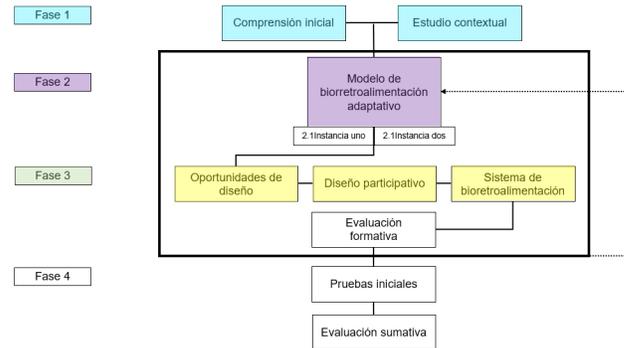


Figura 1. Metodología utilizada.

**La fase 1** fue la revisión de literatura para generar una comprensión inicial y de forma paralela un estudio contextual.

**La fase 2** es la creación del modelo de biorretroalimentación adaptativo que tome en cuenta estos parámetros o umbrales para dar una retroalimentación adecuada.

En esta fase, se propuso la instancia de dos poblaciones que son de interés para la investigación, Instancia 1 niños con autismo e Instancia 2 deportistas. Estas poblaciones fueron elegidas por presentar una posible desregulación del sistema nervioso autónomo. Además, estas instancias nos ayudaran a extraer las características que debe tener nuestro modelo adaptativo. Mientras que la instancia de autismo es una instancia natural, es decir, el espectro de autismo puede estar ligado a una desregulación, los deportistas por su parte pueden llegar a generar esta desregulación con base a su entrenamiento. De esta forma, nosotros estamos contemplando dos poblaciones que nos ayudaran a generalizar nuestro modelo a otras posibles poblaciones. Como parte de la fase dos. Este modelo adaptativo fue propuesto. En este modelo, nosotros realizamos una primera propuesta del ajuste de parámetros a través de una serie de reglas utilizando lógica difusa. Esto con la finalidad de dar una retroalimentación adecuada. Sin embargo, aún falta alimentar y reajustar este modelo para que sea robusto y generalizable a otras poblaciones.

**La fase 3** es la creación de un sistema de biorretroalimentación adaptativo que implemente el modelo de biorretroalimentación. Debido a la naturaleza de cada instancia, se consideraron dos diferentes sistemas de biorretroalimentación. Para la instancia uno, nosotros utilizamos un sistema llamado EtherealBreathing, este sistema se desarrolló como parte del trabajo de mi maestría y actualmente se encuentra publicado. En esta investigación se presenta una adaptación de estímulos utilizando como entrada los datos fisiológicos del niño junto con la adherencia a la sesión. Para la instancia dos, en este periodo hemos trabajado en el desarrollo de un sistema de biorretroalimentación para deportistas.

En este periodo nos enfocamos a desarrollar el sistema de la instancia dos. El sistema para deportistas, será necesario para la implementación del modelo adaptativo. Ya que, hasta el momento, solo cumplen con una función de biorretroalimentación tradicional. Es decir, medir parámetros fisiológicos, procesar la información y retornarla al usuario. Actualmente nuestro trabajo se encuentra en esta fase.

**Finalmente, la fase 4**, es la fase de pruebas y el estudio sumativo del modelo adaptativo.

## 5 VANS

Como parte de la fase 3 de la metodología, nosotros desarrollamos el sistema de biorretroalimentación de RV para deportistas, a continuación, mostramos un resumen de la arquitectura y diseño del sistema llamado VANS.

VANS es un sistema de biorretroalimentación de RV diseñado para el entrenamiento de la gestión del estrés en deportistas. La gestión del estrés consiste en regular el sistema nervioso autónomo y comprender cómo regular las señales fisiológicas (por ejemplo, la frecuencia cardíaca, la respiración o la resistencia galvánica de la piel) para evitar episodios de estrés. El objetivo de los jugadores cuando juegan a VANS es ganar un torneo de fútbol practicando ejercicios de respiración y manteniendo sus niveles de estrés por encima de un umbral definido automáticamente.

### 5.1 Arquitectura de VANS

El proceso comienza cuando el VANS, a través de instrumentos de medición fisiológica (frecuencia cardíaca, respiración, temperatura, Figura 2.1), capta y envía las señales fisiológicas a un dispositivo de procesamiento (teléfono móvil, PC, tableta). A continuación, el dispositivo móvil recibe las señales y las procesa para su análisis (Figura 2.2). Por último, VANS determina los estímulos y el ejercicio de control que deben mostrarse en función del análisis (Figura 2.3).

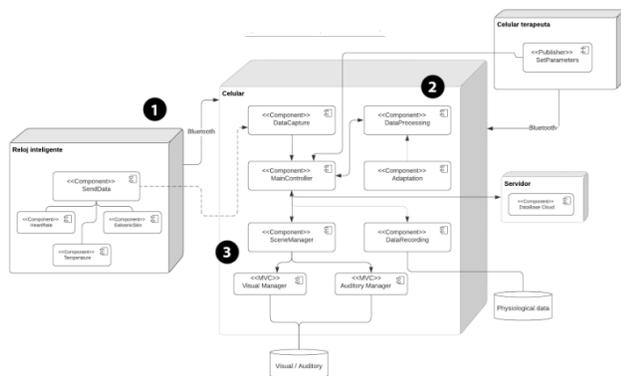


Figura 2. Arquitectura del Sistema VANS.

El sistema VANS considera 5 estados fisiológicos diferentes del cuerpo humano (relajado, tranquilo, neutro, tenso, estresado). Estos estados internos tienen valores predefinidos para 5 señales fisiológicas (temperatura, respiración, variabilidad del ritmo cardíaco, presión arterial). Estos estados se han presentado en la literatura, y algunas marcas comerciales como Nike y Garmin los utilizan en sus dispositivos vestibles.

### 5.2 Diseño de VANS

VANS tiene una narrativa para mantener al atleta comprometido durante las sesiones. En la narración, un entrenador menciona al deportista que se va a celebrar un torneo llamado "All-champions" en el que el deportista tiene que participar jugando contra diferentes equipos. Cada sesión de biorretroalimentación es un partido que se jugará dentro del torneo. Cada partido tiene una duración de 12 minutos divididos en 9 sets (1:20 minutos por set).

VANS considera 5 estados de estrés definidos clínicamente en la literatura. Para la representación de los estados, es decir, los diferentes niveles de estrés, modificamos los elementos visuales en el visor de RV (es decir, la pantalla) como el tiempo restante en el reloj (Fig. 3.D), el marcador (Fig. 3.C), el sonido del público, las vocalizaciones del entrenador, y un tacómetro (Fig. 3.E) para

indicar el nivel de estrés actual detectado. Estos elementos cambian en función del estado inferido del atleta. Por ejemplo, cuando el deportista está en un estado relajado, el entorno se muestra a su favor, es decir, con un marcador positivo (ganando por 14 puntos), suficiente tiempo en el reloj para ganar (quedan 50 segundos), sonidos de un público amable y sonidos del entrenador animándole. Por el contrario, si el jugador está en un estado tenso, el entorno se muestra en su contra, con un marcador negativo (perdiendo por 14 puntos), poco tiempo en el reloj (50 segundos restantes), sonidos de un público agresivo (abucheos) y sonidos del entrenador gritando indicaciones.



Figura 3. Proceso de biorretroalimentación para el estrés en atletas.

## 6 Evaluación preliminar y futuras evaluaciones

Hasta el momento se ha trabajado en las tres primeras fases de la metodología (figura 1), sin embargo, nosotros realizamos una evaluación preliminar para conocer la opinión de los deportistas del sistema VANS. Esta evaluación se realizó utilizando el Modelo de Aceptación de la Tecnología (TAM). Este instrumento tiene 7 escalas (desde extremadamente de acuerdo hasta extremadamente en desacuerdo) y se evalúa con un punto cada una. Una puntuación de 7 (puntuación alta) representaría un acuerdo total, mientras que una puntuación de 0 (puntuación baja) representaría un desacuerdo total. El objetivo de este modelo es medir 3 factores principales:

- **Utilidad percibida:** el grado en que la persona cree que el uso de la aplicación mejoraría su control del estrés durante la práctica.
- **Facilidad de uso percibida:** El grado en que la persona cree que le resultaría fácil interactuar con la aplicación y utilizarla.
- **Intención de uso:** La intención del usuario de hacer uso de la aplicación cuando esté disponible.

En total, 8 futbolistas participaron (3 mujeres) en la evaluación. Los rangos de edad se distribuyen entre los 18-24 años. Los jugadores fueron reclutados de un equipo universitario local en Sonora, México. A los jugadores se les mostró un vídeo del sistema junto con sus características. Se mostró el mismo vídeo a todos los usuarios.

**Utilidad percibida:** Dentro del instrumento TAM, se utilizaron 4 preguntas para medir la utilidad percibida por el usuario con el VANS. En general, los resultados de la utilidad percibida indican que los jugadores consideran que el sistema VANS es útil, ya que el 90% de las respuestas individuales mostraron al menos un ligero acuerdo con la utilidad de VANS. Además, la pregunta con mayor puntuación fue la de si consideraban que el VANS les ayudaría a mejorar su rendimiento, con un 100% de los jugadores que respondieron que estaban de acuerdo o muy de acuerdo (del mismo modo que las preguntas 3 y 4).

**Facilidad de uso percibida:** El 86% de las respuestas fueron positivas. La puntuación más baja fue, si sería fácil para el atleta convertirse en un experto con el uso de VANS. A pesar de ello, la gran mayoría estuvo de acuerdo con la facilidad de uso de VANS.

**Intención de uso:** El 92% de las respuestas fueron positivas. Esto indica que los jugadores están interesados en utilizar los VANS para apoyar la gestión del estrés y la regulación del SNA durante la práctica del fútbol.

## 7 Trabajo futuro y retos

Hasta el momento se ha trabajado en la fase 1-3 En este trabajo de investigación que lleva por nombre biorretroalimentación para la regulación del sistema nervioso autónomo. Teniendo como resultado, el diseño e implementación de un sistema de biorretroalimentación de RV diseñado para el entrenamiento de la gestión del estrés en los atletas. Además de una evaluación preliminar del mismo.

Como parte del trabajo futuro y fase 4 de la metodología, nosotros contemplamos la evaluación del sistema de biorretroalimentación de RV VANS. Para esto pretendemos correr un estudio longitudinal con 20 deportistas de 18 a 25 años de edad, jugadores de fútbol americano, con el objetivo de evaluar la regulación de su SNA utilizando el sistema VANS.

Esta evaluación se tiene planeada realizar en sitio (Instituto tecnológico de Sonora) y se pretenda evaluar en dos vías. Una es utilizando el sistema con biorretroalimentación y la otra es sin biorretroalimentación. De esta forma nosotros queremos saber el impacto que tiene la biorretroalimentación en el SNA y que papel tiene en la regulación de estrés de los deportistas.

Otra posible evaluación de la fase 4 y pensada a realizar en el último año es la evaluación del sistema EtherealBreathing con el modelo adaptativo implementado. Para esto se pretenda reclutar a niños de una escuela clínica que tiene a niños con autismo situada en Tijuana Baja California.

Dentro de los retos y dudas que nos hemos encontrado y que nos gustaría recibir retroalimentación es:

- ¿Qué técnica es la más adecuada para entrenar nuestro modelo (svm, kkn, lógica difusa)?
- ¿Como evaluar justamente el sistema VANS en comparación con otros sistemas actuales o estándar de oro en la medicina?
- Recomendaciones para el estudio longitudinal, tomando en cuenta la variación de datos fisiológicos en usuarios.

## 8 Referencias

- [1] Sheldon Hanton, Rich Neil, and Stephen D Mellalieu. 2008. Recent developments in competitive anxiety direction and competition stress research. *International Review of Sport and Exercise Psychology* 1, 1 (2008), 45–57.
- [2] Richard S Lazarus and Richard S Lazarus. 1991. *Emotion and adaptation*. Oxford University Press on Demand.
- [3] Nika Pusenjaj, Anton Grad, Matej Tusak, Matevz Leskovsek, and Romina Schwarzlin. 2015. Can biofeedback training of psychophysiological responses enhance athletes' sport performance? A practitioner's perspective. *The Physician and sportsmedicine* 43, 3 (2015), 287–299
- [4] E Peper and A Schmid. 1983. The use of electrodermal biofeedback for peak performance training. *Somatics* 4, 3 (1983), 16–18
- [5] Maman Paul and Kanupriya Garg. 2012. The effect of heart rate variability biofeedback on performance psychology of basketball players. *Applied psychophysiology and biofeedback* 37, 2 (2012), 131–144
- [6] Benjamin William Strack. 2003. Effect of heart rate variability (HRV) biofeedback on batting performance in baseball. Alliant International University, San Diego.
- [7] Nada Pop-Jordanova, Aneta Demerdzieva, et al. 2010. Biofeedback training for peak performance in sport-case study. *Macedonian journal of medical sciences* 3, 2 (2010), 113–118
- [8] Margaret Dupee and Penny Werthner. 2011. Managing the stress response: The use of biofeedback and neurofeedback with Olympic athletes. *Biofeedback* 39, 3 (2011), 92–94
- [9] Marieke Van Rooij, Adam Lobel, Owen Harris, Niki Smit, and Isabela Granic. 2016. DEEP: A biofeedback virtual reality game for children at-risk for anxiety. In *Proceedings of the 2016 CHI conference extended abstracts on human factors in computing systems*. 1989–1997.
- [10] Christoph Rockstroh, Johannes Blum, and Anja S Göritz. 2019. Virtual reality in the application of heart rate variability biofeedback. *International Journal of Human-Computer Studies* 130 (2019), 209–220.
- [11] Rakesh Patibanda, Florian 'Floyd' Mueller, Matevz Leskovsek, and Jonathan Duckworth. 2017. Life tree: understanding the design of breathing exercise games. In *Proceedings of the annual symposium on computer-human interaction in play*. 19–31



© 2021 by the authors. This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/> or send a letter to Creative Commons, PO Box 1866, Mountain View, CA 94042, USA.