

Tipo de artículo: Artículo original  
Temática: Inteligencia Computacional  
Recibido: 15/03/2020 | Aceptado: 18/06/2020 | Publicado: 01/08/2020

## **Análisis bayesiano de los factores psicológicos de la variabilidad en la ejecución del gesto deportivo**

### *Bayesian analysis of the psychological factors of the variability in the execution of the sport face*

**Eduardo Rangel Puentes Bencomo<sup>1\*</sup>, Abundio Eduardo Puentes Borges<sup>2</sup>, Neilys González Benítez<sup>3</sup>,**

<sup>1</sup> Centro de entrenamiento de Lucha Greco-romana, Guayaquil, Ecuador. Correo electrónico: [gol07@gmail.com](mailto:gol07@gmail.com)

<sup>2</sup> Instituto Superior Pedagógico, Universidad de Pinar del Río, Cuba. Correo electrónico: [apuentesborges@gmail.com](mailto:apuentesborges@gmail.com)

<sup>3</sup> Centro Meteorológico Provincial de Pinar del Río, Cuba. Correo electrónico: [neilysgonzalezbenitez@gmail.com](mailto:neilysgonzalezbenitez@gmail.com)

\* Autor para correspondencia: [gol07@gmail.com](mailto:gol07@gmail.com)

---

#### **Resumen**

En la práctica tradicional los procesos del entrenamiento y control de la técnica y de la enseñanza del gesto deportivo se hacen básicamente por la imitación de una técnica hecha por deportistas superiores o suficientemente adiestrados. Esta técnica ideal opera como una plantilla del modelo técnico de rendimiento. Los entrenadores adoptan este modelo basados en fotografías o figuras secuenciales de los deportistas con mayor rendimiento. Este acercamiento tiene algunas limitaciones dada la variabilidad en la técnica modelo de un deportista que tiene sus propias características antropométricas, musculares, óseas, articulares, respiratorias, y de respuestas fisiológicas y psicológicas (para enumerar sólo algunas), entonces probablemente no hay fundamento para determinar la técnica o modelo ideal en esta forma. Basado en lo antes referido, en el presente trabajo se propone como objetivo, realizar un análisis bayesiano para de los factores psicológicos de la variabilidad en la ejecución del gesto deportivo. De acuerdo con el análisis bayesiano, que se utiliza como metodología computacional, se obtiene que los factores psicológicos como la actividad, la ansiedad y el estrés son los que prevalecen en la variabilidad en la ejecución del gesto deportivo.

**Palabras clave:** Análisis bayesiano; factores psicológicos; gesto deportivo; variabilidad; modelo de un deportista.

#### **Abstract**

*In practice traditional the processes of the training and control of the technique and of the teaching of the sport face they makes basic for the imitation of a technique made by superior or sufficiently trained sportsmen. This ideal technique operates as a planlet of the technical model of performance. The coaches adopt this model based on photoes or figure sequences of the sportsmen with major performance. This approach has some given limitations the*

*variability in the model technique of a sportsman it has your own anthropometric, muscular, bony, articular, respiratory characteristics, and of physiologic and psychological answers (to enumerate only someone), then probably there is not foundation to decide the technique or it model ideal in this form. Based on it before related, at present work proposes as objective, carry out a Bayesian analysis for of the psychological factors of the variability in the execution of the sport face. In agreement with the Bayesian analysis, that is to use as computational methodology, obtains that the psychological factors as the activity, the anxiety and the stress are those who thrive in the variability in the execution of the sport face.*

**Keywords:** *Bayesian analysis; psychological factors; gestate sport; variability; model of a sportsman.*

## **Introducción**

La variabilidad del movimiento es la de mayor uso en el análisis de la técnica deportiva, particularmente en la evaluación y el diagnóstico de los patrones técnicos deportivos, sea la de carácter interindividual expresada como el arribo a obtener el concepto de movimientos críticos (movimientos de menor variabilidad = atractores) hechos por varios deportistas experimentados para ejecutar movimientos segmentales más similares (similar = menor variabilidad). En contraste, una mayor variabilidad de movimiento o movimientos diferenciales (repelentes) indica que existe una diferenciación sustancial en los patrones de movimiento entre los deportistas, las cuales pueden ser atribuidas a las características de los deportistas estudiados y que no pueden ser generalizadas. Por consiguiente, estudiar la variabilidad de movimiento inter- e intra -individuos puede ser el camino para el diagnóstico, evaluación y control de las técnicas deportivas.

Estudios han demostrado que existe variabilidad en cualquier secuencia del movimiento humano. Una variabilidad reducida o la repetitividad consistente de un movimiento es un indicador de un deportista técnico, esta variabilidad del movimiento, descrita en la literatura previamente expuesta, es de carácter intra e inter individual.

Para el BIOMIN-VAR (modelo biomecánico utilizando la variabilidad en la interpretación del gesto deportivo) todo parte del eje central del objeto de estudio de la biomecánica deportiva que es el gesto deportivo o la forma como una técnica es ejecutada por el deportista. A través de esta inter-disciplina científica, se analiza el gesto deportivo con metodologías y tecnologías muy modernas con miras a obtener una optimización de la técnica empleada y, por ende, buscar desarrollos positivos en el rendimiento deportivo.

La primera fase del modelo BIOMIN-VAR (1), está relacionada con el análisis cualitativo del gesto deportivo. El análisis cualitativo es la observación sistemática y el juzgamiento introspectivo de la cualidad del movimiento humano con el propósito de proveer la intervención más apropiada para mejorar el rendimiento (Knudson & Morrinson, 1996).

La segunda fase del modelo BIOMIN-VAR (2) es la medición y análisis cuantificado del movimiento deportivo. Es el proceso de asignar números y magnitudes a las diferentes variables cinemáticas y cinéticas del gesto deportivo objeto del análisis.

El rendimiento, es la efectividad en términos cortos o largos del movimiento de una persona para alcanzar una meta, el análisis cualitativo es por naturaleza un juzgamiento subjetivo, pero esto no significa que sea desorganizado, vago y arbitrario. Al contrario, éste necesita de una información extensa desde diferentes disciplinas, una planeación y pasos sistemáticos para ser más efectivo, los eventos críticos son considerados dentro de las fases de movimiento, como las acciones motoras instantáneas que son muy significativas para los aspectos puntuales de análisis de movimiento y que representan momentos cruciales dentro de la secuencia de las posturas dinámicas.

El modelo de Análisis Biomecánico Integral BIOMIN según (Acero, 2006) en deportistas de rendimiento y talentos especiales, se sustenta en (1) dos acercamientos científicos que integralmente se deben interpretar: el deportista morfológico (DM) y el deportista dinámico (DD), cuyos conceptos y metodologías se integran e interrelacionan para determinar el tipo de rendimiento deportivo. La tercera fase del modelo BIOMIN-VAR (3) establece los procesos estadísticos de determinar el patrón resultante de una técnica deportiva, siguiendo los principios de variabilidad y los respectivos coeficientes de variación de las variables seleccionadas.

Considera el referido autor que resulta muy importante en el estudio de la variabilidad del gesto deportivo, sobre todo la intra-individuo, tener presente los factores psicológicos que inciden en esta variabilidad. La variabilidad es considerada generalmente como un obstáculo en el rendimiento deportivo, pero esta puede ser también inducida por el atleta con el fin de resolver una situación imprevista que se le presenta y aplicar la técnica del modo más adecuado. En este caso, la variación es introducida intencionalmente y puede ser considerada como una estrategia.

De acuerdo con lo ante referido, en el presente trabajo se aborda la variabilidad involuntaria, centrada ella en los factores psicológicos. La variabilidad involuntaria en diferentes situaciones deportivas (sobre todo competitivas)

cuando el atleta se siente obligado a ganar y, más aún, si reconoce el alto grado de dificultad de la tarea a realizar (medida a vencer, marca a superar, condiciones del rival) puede experimentar un foco de estrés importante.

La situación, antes expresada provoca cambios en la forma de ejecutar la técnica, la cual incide y puede desvirtuar y provocar su mala ejecución e incluso una lesión en el deportista. Esta variabilidad puede tener también carácter positivo y contribuir a una mejor ejecución técnica, todo ello depende de las características psicológicas del atleta.

Para analizar consecuentemente este fenómeno se tiene en cuenta el concepto utilizado con estos fines; el concepto de activación. Weinberg y Gould (1996) sobre el término activación refieren “a la reacción general, fisiológica y psicológica del organismo (nivel energético del organismo) variable a lo largo de un continuo que va desde el sueño profundo hasta la excitación intensa.

La activación hace referencia a los procesos más dinámicos y energéticos de la conducta motora. La activación debe ser muy tenida en cuenta a la hora de controlar el comportamiento del atleta durante la competencia: niveles muy bajos de activación pueden provocar debilitamiento e incluso omisión de la ejecución de alguna fase de la acción técnica, pero por otra parte niveles muy altos de activación pueden provocar un desgaste energético que dé al traste con la ejecución exitosa de la cadena de acciones técnicas a ejecutar.

Sobrepasar el nivel adecuado de activación no va a traer mejor rendimiento, sino que implicará mayor gasto energético y menor atención a los detalles de las fases de la técnica. La obsesión por el resultado en competición o el temor al fracaso implica un estado emocional inadecuado que puede acarrear una baja concentración en la acción a ejecutar. Sin embargo, estar orientado a disfrutar, hacerlo lo mejor posible, hacer un buen papel sin presiones, permite la preparación psicológica necesaria para seguir, en la aplicación de la técnica, todas las orientaciones e instrucciones recibidas durante las sesiones de entrenamiento, lográndose minimizar los niveles de variabilidad del gesto deportivo.

El atleta debe tener en todo momento la adecuada orientación hacia el accionar técnico a fin de ejecutar el gesto deportivo lo más parecido posible al modelo concebido y ensayado con su instructor salvo en los casos en que las condiciones externas obliguen a la concepción y ejecución de variaciones dirigidas a fines concretos. Si el atleta está mal orientado, cuando aumente la activación, tiene una orientación negativa, se produce la evitación y se

desencadenan estados de ansiedad los cuales no permiten los requeridos niveles de concentración en la ejecución técnica” en condiciones en las que el fracaso en la satisfacción de la demanda tiene consecuencias importantes”

El estrés es un proceso natural pero cuando tenemos dudas sobre nuestras posibilidades de cumplir una demanda este se hace negativo provocando altos niveles de ansiedad y baja concentración y, por consiguiente, altos niveles de variabilidad en la ejecución de la técnica. Cuando el estrés continuo el tiempo suficiente el organismo entra en un estado donde se rompe la homeostasis caracterizado por un acentuado debilitamiento; es lógico suponer que en tal estado de debilitamiento no se pueden cumplir todas y cada una de las fases de una técnica dada, en consecuencia, es tal la variabilidad que se origina que solo se obtiene el fracaso.

Si bien el estrés emana de la situación, no es menos cierto que depende muy directamente de la personalidad del individuo, de aquí que similares situaciones provocan diferentes niveles de estrés en diferentes atletas y, consecuentemente con esto, diferentes niveles de variabilidad del gesto deportivo. Un entrenador sagaz y experimentado no puede estar ajeno a síntomas de ansiedad que presentan sus atletas ante compromisos de envergadura.

Dentro de los síntomas de ansiedad que presentan sus atletas ante compromisos de envergadura se encuentra: las taquicardias, taquipnea, sudoración, ruborización, molestias estomacales y tensión muscular entre otros. Estos pueden ser indicadores que advierten de la variabilidad en la ejecución de las técnicas, conducentes al fracaso.

## **Materiales y métodos o Metodología computacional**

En el presente trabajo se realiza un análisis para determinar los principales factores psicológicos de la variabilidad en la ejecución del gesto deportivo que afecta el rendimiento de los atletas. El análisis se realiza basado en las bondades de las Redes Bayesianas como técnica de Inteligencia Artificial, que contribuyen a disminuir la incertidumbre, obtener probabilidades útiles para el apoyo a la toma de decisiones.

Las redes bayesianas son herramientas de modelado estadístico destinadas a representar un conjunto de incertidumbres relacionadas. Su estructura gráfica y su fundamento probabilístico las hace apropiadas para modelar sistemas multivariados orientados a la clasificación, el diagnóstico y la toma de decisiones.

Una de las ventajas más importantes que tienen las redes bayesianas es que pueden representar de manera simultánea la dimensión cualitativa y la dimensión cuantitativa de un problema (p. e., Aguilera, Fernández, Fernández, Rumí, y Salmerón, en prensa; Edwards, 1998; Heckerman, 1995). Como señalan Heckerman, Mamdani, y Wellman (1995) esta ventaja ha sido propiciada por el aumento en la potencia de cómputo de los ordenadores personales y por el desarrollo de algoritmos de propagación de probabilidades que optimizan los recursos computacionales haciendo uso del teorema de Bayes. Por otro lado, dada su naturaleza bayesiana, estas herramientas pueden gestionar la presencia de casos perdidos en las muestras de manera eficiente (p. e., Nadkarni y Shenoy, 2004; Jansen et al., 2003).

Para realizar el análisis bayesiano de los factores psicológicos de la variabilidad en la ejecución del gesto deportivo, se utiliza el software Netica. Para modelar este problema se genera una red bayesiana divergente (Figura 1), también llamado modelo de causa común, donde existe una variable que representa la variabilidad en la ejecución del gesto deportivo y dos variables, una que representa los síntomas de ansiedad que presentan los atletas y una segunda variable que representa el estrés al que se encuentran sometidos los atletas.

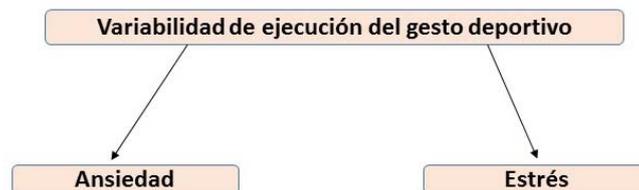


Figura 1. Estructura gráfica de la red *variabilidad del gesto deportivo*

Para el análisis se utiliza el método de estimación basado en la frecuencia relativa, ya que es el más recomendable en casos en los que no se presuponen variables latentes y no hay una alta presencia de casos perdidos. El método se implementa a través del algoritmo de máxima verosimilitud basado en las frecuencias relativas (conjuntas) y que se expresa matemáticamente con se muestra en la ecuación 1.

(1)

$$p(x_i | x_{\pi(i)}) = \frac{n(x_i, x_{\pi(i)})}{n(x_{\pi(i)})}$$

Donde;

$n(x_{\pi(i)})$  Se refiere al número de casos que contiene la base de datos en los que las variables  $X_{\pi(i)}$  toman el valor;  $x_{\pi(i)}$  y  $n(x_i, x_{\pi(i)})$  es el número de casos en que  $X_{\pi(i)} = x_{\pi(i)}$  y  $X_i = x_i$

El uso de este modelo de estimación puede dar lugar a dos tipos de problemas. Por un lado, podría generar estimaciones no definidas que se producen cuando alguna combinación particular de estados de variables no está presente y, por otro lado, cabría la posibilidad de incurrir en estimaciones sobreajustadas que generarían parámetros sesgados en el caso de que haya combinaciones de estados en las variables que estén subrepresentadas o sobre-representadas.

De acuerdo con lo anterior, Netica usa una función que introduce un factor de corrección en la ecuación (1) basado en la Ley de la Sucesión de Laplace (Morales, 2006; Ng y Jordan, 2002) y se obtiene la ecuación como se muestra en 2.

$$p(x_i | x_{\pi(i)}) = \frac{n(x_i, x_{\pi(i)}) + 1}{n(x_{\pi(i)}) + |X_i|} \quad (2)$$

Donde;

$|X_i|$  se refiere al número de estados que tiene la variable  $X_i$

## Resultados y discusión

Creada la red bayesiana es posible evaluar el grado en que su comportamiento se ajusta a un conjunto de datos. Por lo general, se suelen llevar a cabo estudios de validez cruzada. Esto es, se estima el modelo con una porción aleatoria de la muestra, por lo general del 70% o el 80%, y seguidamente se testa el modelo con el 30% o 20% restante respectivamente.

En la medida en que el modelo se ajusta a este “nuevo” conjunto de datos podríamos decir que tenemos una evidencia sobre su validez. Por lo general, los estadísticos que genera Netica son aplicables a variables individuales y, aunque su interpretación se puede entender en términos globales, están referidos a la bondad de ajuste de una variable dentro del modelo.

Netica, permite estimar tres estadísticos que evalúan el grado de ajuste del modelo en comparación con un conjunto de datos nuevos: la pérdida logarítmica, la pérdida cuadrática y la compensación esférica (López y García, 2011a; Pearl, 1978). La pérdida logarítmica oscila entre cero e infinito indicando cero la mejor bondad de ajuste, por su parte, la pérdida cuadrática (o *brier score*) oscila entre cero y dos donde cero correspondería con una mejo ejecución.

Por último, la compensación esférica está acotada entre cero y uno, indicando uno un ajuste perfecto entre el modelo y los datos. Netica también genera una matriz de confusión o tabla de clasificación donde se comparan las predicciones hechas por el modelo con lo realmente observado. Así, la matriz contendrá tantas filas y columnas como estados tenga el nodo que está siendo objeto del análisis.

En las casillas de la matriz se representan el número de casos en que la red predijo un estado concreto en comparación con el estado que se observó en la base de datos de prueba. Un ajuste perfecto se concretaría con una diagonal que contenga frecuencias diferentes de cero y con ceros fuera de la diagonal. En relación con esto, Netica proporciona la tasa o el porcentaje global de errores (*Error rate*) en la clasificación de los nuevos datos que no han sido usados para estimar el modelo.

Cuando las variables son dicotómicas, el programa realiza un test de especificidad generando las coordenadas de una curva ROC (*Receiver Operating Characteristic Curve*) que evalúa la validez predictiva o clasificatoria del nodo. Sin embargo, los puntos de corte que utiliza son arbitrarios y no produce una estimación del área bajo la

curva ROC. En caso de estar interesados en estos estadísticos, se recomienda usar la función de procesamiento de casos que se describirá a continuación y estimar el área bajo la curva ROC utilizando métodos clásicos (Hanley y McNeil, 1982, 1983) u otros programas informáticos (Franco y Vivo, 2007). Los resultados del análisis aparecerán en una nueva ventana en formato de texto, que genera Netica, y que se muestra en la Figura 2.

```
Confusion:
...Predicted..
Variabilidad -- Variabilidad -- Actual
-----
          5          1  Ansiedad
          1          13  Estrés

Error rate = 10%

Scoring Rule Results:

Logarithmic loss = 0.2994
Quadratic loss   = 0.1657
Spherical payoff = 0.9112
```

Figura 2. Resultados del modelo de red bayesiana usados para la estimación de los factores psicológicos de la variabilidad en la ejecución del gesto deportivo.

En la Figura 2, se muestra la ubicación para el archivo que contendrá las probabilidades estimadas para el estado “Ansiedad” del nodo “Variabilidad de ejecución del gesto deportivo”. Estas probabilidades se utilizan para calcular estadísticos de verosimilitud como la lejanía o “*deviance*” o estadísticos relativos al porcentaje de varianza explicada por el modelo (DeMaris, 2002; Long, 1997).

## Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos, al realizar el análisis bayesiano, cabe destacar que la variabilidad tiene un fuerte componente fisiológico no menos importante y más difícil de tratar es su aspecto psicológico. Por lo que sin ese análisis no es posible la concreción de una meta concebida con anterioridad y que para obtener logros en los atletas se requiere de una dedicación de largas horas de entrenamiento para así incidir de forma adecuada en la preparación psicológica del atleta.

Para un buen rendimiento de los atletas es requiere de ellos una correcta preparación para introducir oportunas variantes en la ejecución del gesto deportivo a fin de vencer situaciones imprevistas, también deberá estar preparado para minimizar el número de variaciones involuntarias en la ejecución del gesto deportivo.

El logro de la constancia en la ejecución del gesto modelo dependerá en gran medida de factores psicológicos y específicamente la ansiedad. Una buena preparación del deportista comprenderá tanto el aspecto físico como el aspecto psicológico y su acertada concreción se verá manifestada por la aplicación de una adecuada estrategia y por la ejecución de los gestos deportivos con el más bajo nivel de variabilidad.

## Referencias

- AGUILERA, P. A., FERNÁNDEZ, A. FERNÁNDEZ, R., RUMÍ, R., Y SALMERÓN, A. (En prensa). Bayesian networks in environmental modelling. *Environmental Modelling & Software*. doi: 10.1016/j.envsoft.2011.06.004
- CRUZ, J. (1997) “Psicología del Deporte”. Madrid
- DEMARIS, A. (2002). Explained variance in logistic regression. A Monte Carlo study of proposed measures. *Sociological Methods & Research*, 31, 27–74.
- FRANCO, M., Y VIVO, J. M. (2007). Análisis de curvas ROC. Principios y aplicaciones. Madrid: La Muralla.
- HANLEY, J. A., Y MCNEIL, B. J. (1982). The meaning and use of the area under a receiver operating characteristic (ROC) curve. *Radiology*, 143, 29–36.
- HANLEY, J. A., Y MCNEIL, B. J. (1983). A method of comparing the areas under receiver operating characteristic curves derived from the same cases. *Radiology*, 148, 839–843.
- HECKERMAN, D., MAMDANI, A., y WELLMAN, M. P. (1995). Real-world applications of Bayesian networks. *Communications of the Association for Computing Machinery*, 38 (3), 24– 26.
- LONG, J. S. (1997). *Regression models for categorical and limited dependent variables*. Thousand Oaks, CA: SAGE Publications.
- LÓPEZ, J. Y GARCÍA, J. (2011a). *Utilidad de las redes bayesianas en psicología*. Almería: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Almería.
- MARTINEZ, M. (2006) Apuntes de la asignatura de Análisis Comportamental del Rendimiento Deportivo (tema 9). F. CC.F.C.D. Granada

- MORALES, M. E. (2006). Modelización y predicción en estadística universitaria. Tesis doctoral no publicada, Facultad de Ciencias Experimentales, Universidad de Almería.
- NADKARNI, S., y SHENOY, P. P. (2004). A causal mapping approach to constructing Bayesian networks. *Decision Support Systems*, 38, 259–281.
- NG, A. Y., Y JORDAN, M. I. (2002). On discriminative vs. generative classifiers: a comparison of logistic regression and naive Bayes. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 14, 841–848.
- PEARL, J. (1978). An economic basis for certain methods of evaluating probabilistic forecastst. *International Journal of Man-Machine Studies*, 10, 175-183.
- WILIANS, J. N (1991). Psicología aplicada al Deporte. Madrid: Biblioteca Nueva (2002) Apuntes de la asignatura de Psicología de la motricidad humana. F.CC.A. F.D. Granada