

Modelo para la selección de lanzadores de béisbol empleando el Proceso Analítico Jerárquico a través de la evaluación de su desempeño integral

Model for the selection of baseball pitchers using the Hierarchical Analytical Process through the evaluation of their integral performance

Pedro Teppa-Garran, Carlos Fernández-Da Costa

<https://doi.org/10.54139/riiant.v8i30.478>

Palabras clave: Proceso Analítico Jerárquico, AHP, Béisbol, Desempeño Integral del lanzador

Key words: Hierarchical Analytical Process, AHP, Baseball, Comprehensive Pitcher Performance

RESUMEN

El Proceso Analítico Jerárquico es una herramienta matemática, ampliamente usada en la toma de decisiones, destinada a la detección de una jerarquía global en un conjunto cuyos elementos se conocen relaciones de prioridad dos a dos. La evaluación de lanzadores de béisbol es una componente estratégica fundamental del desempeño de los equipos, la cual se puede plantear en términos de un problema de toma de decisiones multicriterio. En este trabajo se elaboran modelos para clasificar el desempeño de lanzadores de béisbol en la MLB en los roles de abridor y relevista haciendo uso del Proceso Analítico Jerárquico. Los modelos permiten evaluar el desempeño integral del lanzador. Los modelos fueron aplicados en la evaluación de abridores para el premio Cy Young de la temporada 2021 y en la evaluación de relevistas para los premios Trevor Hoffman y Mariano Rivera en la temporada 2017. Igualmente, los modelos permitieron evaluar la trayectoria de un conjunto de abridores emblemáticos venezolanos que realizaron su carrera en la MLB. Los resultados obtenidos fueron satisfactorios y confirman la eficiencia y factibilidad de los modelos propuestos.

ABSTRACT

The Hierarchical Analytical Process is a mathematical tool, widely used in decision making, intended for the detection of a global hierarchy in a set whose elements are known two-to-two priority relationships. The evaluation of baseball pitchers is a fundamental strategic component of team performance, such an evaluation can be posed in terms of a multicriteria decision-making problem. In this work, original models are developed to classify the performance of baseball pitchers in the MLB in the roles of starter and reliever using the Hierarchical Analytical Process. The models allow to evaluate the integral performance of the launcher. The models were applied in the evaluation of starters for the Cy Young Award for the 2021 season and in the evaluation of relievers for the Trevor Hoffman and Mariano Rivera awards in the 2017 season. Likewise, the models allowed evaluating the trajectory of a group of starters emblematic Venezuelans who made their career in the MLB. The results obtained were satisfactory and confirm the efficiency and feasibility of the proposed models.

INTRODUCCIÓN

El béisbol es uno de los deportes donde en cada juego se extraen y almacenan la mayor cantidad de datos estadísticos (Huang y Hsu, 2021), se llevan registros de cada entrada, de cada juego, de cada serie, de cada temporada, se llevan los datos individuales, por equipo y por posición. Esto es, de manera permanente los espectadores están expuestos a que se rompa una marca, un record. Los fanáticos de los equipos desean ser testigos en el estadio o a través del juego televisado, de un eventual suceso histórico. Al final de la temporada regular de las grandes ligas (MLB, por sus siglas en inglés) se elige al jugador más valioso por cada liga, al mejor lanzador, al novato del año, y a los guantes de oro, que corresponden a los mejores jugadores defensivos por posición. La definición de los ganadores de estos premios. Y como agregan, (Lanoue & Revetta, 1993; Hauptert, 2007a; Real, 2019; Brown, 2022), la resolución de problemas de arbitrajes salariales, la contratación de agentes libres y las nóminas de equipos cada vez más costosas son aspectos que intervienen en la valoración del desempeño de los jugadores. Este conjunto de factores y su amplia tradición cultural y popular ha convertido al deporte del béisbol en una industria multimillonaria, los acuerdos de licencia y patrocinio, los contratos de transmisión de los juegos y las ganancias producidas por la asistencia a los estadios, generan cuantiosos beneficios (Hauptert, 2007b; Powers, 2015; Lee, 2018).

En el juego de béisbol, como en todos los deportes de equipo, la victoria solo se puede alcanzar por el aporte y el esfuerzo de todos los jugadores. La ofensiva es una de las áreas de desempeño del béisbol que más pasiones despierta, más aún por lo complicado que resulta la acción de batear. Se debe golpear con un bate de no más de 1.07 m de largo y de un diámetro de 7 cm en su parte más gruesa, una esfera de 22.5 cm de circunferencia que pesa 149 gr y que puede viajar a una velocidad de más de 90 millas por hora, recorriendo la distancia del box al home en 0.42 segundos y además, variando su recorrido en el aire (Vistuer-Valdés, 1995). Sin embargo, a pesar de lo señalado arriba, es la posición del lanzador la que posee una importancia decisiva y fundamental para alcanzar el triunfo en un juego de béisbol. Las principales armas de un lanzador son su velocidad y el control de sus lanzamientos y se ha investigado y documentado el impacto de estas habilidades en el desempeño del propio equipo y en la disminución del rendimiento ofensivo del equipo adversario (Chen & Chen, 2009; Gould & Winter, 2009). Los lanzadores se clasifican en abridores y relevistas. El abridor es el que inicia el partido y se desea que se mantenga lanzando durante la mayor cantidad de entradas posibles. El relevista es quien reemplaza al abridor cuando sus capacidades disminuyen o por razones estratégicas que se presenten durante el juego (Chen et al., 2010).

Todo este marco deportivo y económico plantea la necesidad de disponer de instrumentos de calificación del desempeño de los jugadores de béisbol. El proceso analítico jerárquico (AHP, por sus siglas en inglés) es una herramienta matemática desarrollada por Thomas Saaty en los años 80 destinada a obtener la mejor decisión a partir de una serie de valores fácilmente medibles por los usuarios (Saaty; 1980, 1990, 2008). Su flexibilidad y simplicidad matemática lo ha convertido en una herramienta favorita de la toma de decisiones en las áreas de la ingeniería, la industria de alimentos, los negocios, la ecología, la salud y el gobierno; por no mencionar que algunas de ellas (Vargas, 1990; Apostolou & Hassel, 1993; Vaidya & Kumar, 2006; Liberatore & Nydick, 2008; Ho, 2008; Ho & Ma, 2018; Veisi et al., 2022; Panchal & Shrivastava, 2022). En los deportes se ha aplicado con éxito en el fútbol, el béisbol, el baloncesto, el atletismo, el hockey, el tenis y el fútbol americano (Nisel & Özdemir, 2016) y en la evaluación general de la industria deportiva (Yong, 2021; Erturan-Ogut & Kula, 2022).

En el béisbol se ha empleado de manera particular, para la evaluación ofensiva de jugadores (Lanoue & Revetta, 1993), en la

clasificación de los equipos dentro de una liga (Nishizawa, 1995), para clasificar a los agentes libres (Bodin, 1999), para clasificar a jugadores dentro de un equipo (Bodin & Epstein, 2000), en la evaluación de entrenadores (Wan et al., 2014), en la predicción del equipo campeón de la Liga Americana (Manoj et al., 2017) y en el estudio de la relación entre el desempeño del jugador y su salario (Chen et al., 2018). Continuando con el deporte del béisbol, también se ha usado la técnica de análisis envolvente de datos (DEA, por sus siglas en inglés) y en este sentido se pueden mencionar las contribuciones siguientes: Mazur (1994) y Anderson & Sharp (1997) quienes lo utilizaron para evaluar el desempeño individual de jugadores en la MLB. Howard & Miller (1993) hacen uso de DEA, definiendo como entradas a los indicadores de desempeño de los jugadores de béisbol de la MLB y como salida a sus salarios y así determinar los jugadores que estarían sobre o sub valorados y finalmente; Micelli & Volz (2012) examinan el desempeño individual de jugadores en cuanto a su votación para integrar el salón de la fama del béisbol de los Estados Unidos.

METODOLOGÍA

En este trabajo se proponen dos modelos de evaluación del desempeño de lanzadores de béisbol, uno para abridores y el otro para relevistas. La investigación es una contribución original en el empleo del método AHP en la evaluación del

desempeño de lanzadores de béisbol. Hasta la fecha, para el mejor saber de los autores, el desempeño de lanzadores en su rol de abridor se ha evaluado a través de DEA (Chen y Johnson, 2010) y empleando un modelo combinado AHP – TOPSIS en la

liga de béisbol profesional china (Chen et al., 2014).

Los modelos propuestos en esta investigación tienen por objetivo clasificar el desempeño integral del lanzador. Esto es, no solo su rendimiento como lanzador sino también sus aportes ofensivo y defensivo y adaptarlos a las exigencias de las ligas Americana y Nacional de la MLB.

Método AHP

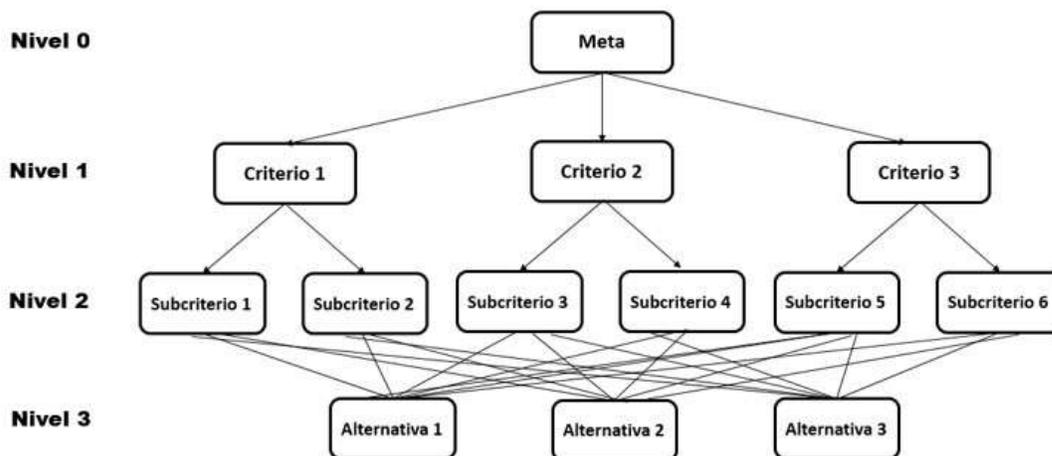
A menudo, en los procesos de toma de decisión es necesario asignar un valor de prioridad a cada alternativa y seleccionar aquella con el máximo valor. Esto es, dado un conjunto de alternativas $\mathcal{X} = \{x_1, \dots, x_m\}$ y un conjunto de criterios $\mathcal{C} = \{c_1, \dots, c_n\}$ que son características que hacen preferible una alternativa en lugar de otra con respecto a una meta dada. Se debe determinar un vector de pesos $w = (w_1, \dots, w_m)^T$ donde w_i es un valor que estima de manera coherente la prioridad de la alternativa x_i . En el sentido que mientras más grande sea w_i , mejor resultará elegir la alternativa i -ésima. Por ejemplo, si $w = (0.3, 0.2, 0.4, 0.1)^T$ resultará $x_3 > x_1 > x_2 >$

x_4 donde $x_i > x_j$ significa que la alternativa x_i se prefiere a la x_j . Posibles empates se expresan como $x_i \sim x_j$.

El método AHP puede aplicarse a problemas de toma de decisión que involucran una meta y un conjunto finito de alternativas. Luego, considerando los diferentes criterios (y subcriterios) deben generarse las prioridades que permiten tomar una decisión. Ahora bien, esto requiere descomponer la decisión en las siguientes etapas (Saaty, 2008):

1. Definir la estructura jerárquica del problema desde la parte superior con la meta, los niveles intermedios con los criterios y subcriterios y en el nivel inferior las alternativas (ver Figura 1).
2. Construir un conjunto de matrices de comparación pareadas. Cada elemento de un nivel superior es usado para comparar los elementos en el nivel con respecto a él, localizado inmediatamente por debajo.
3. Calcular la consistencia de las matrices de comparación.
4. Determinar el vector de prioridades.

Figura 1. Árbol de jerarquías



Si hay n criterios se deben hacer $n(n - 1)/2$ comparaciones. Para hacer estas comparaciones, se emplea una escala de números que indica cuantas veces es más importante (o dominante) un elemento con respecto a otro, en referencia al criterio con el cual se hace la comparación. La Tabla 1 presenta la escala numérica propuesta por Saaty (1980) para establecer los grados de preferencia entre dos elementos que se comparen.

Las comparaciones se recogen en la matriz de comparaciones pareadas $A = (a_{ij})_{n \times n}$ estructurada como

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix} \quad (1)$$

donde cada elemento $a_{ij} > 0$ expresa la preferencia de c_i sobre c_j . En forma más precisa, según la teoría de Saaty (1980), cada elemento se supone que es descrito como el cociente de dos pesos

$$a_{ij} \approx \frac{w_i}{w_j} \quad \forall i, j \quad (2)$$

Tabla 1. Escala numérica fundamental de Saaty

1	Igual importancia
2	Importancia débil
3	Importancia moderada
4	Importancia algo más que moderada
5	Fuerte importancia
6	Importancia algo más que fuerte
7	Importancia muy fuerte
8	Importancia muy, muy fuerte
9	Extrema importancia

Esto significa que la matriz (1) queda descrita por

$$A = \begin{pmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{pmatrix} \quad (3)$$

De donde resulta la condición del inverso multiplicativo $a_{ij} = 1/a_{ji} \quad \forall i, j$ que permite reescribir la matriz de comparaciones en la forma

$$A = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{pmatrix} \quad (4)$$

En palabras, esta estructura simplificada de la matriz de comparaciones implica que si el criterio c_i posee una *importancia moderada* (ver Tabla 1) con respecto al criterio c_j , o sea, $c_i/c_j = 3/1$ entonces se deduce que la relación entre c_j y c_i es $1/3$. Un experto racional debería formular sus preferencias (2) en forma exacta. Esto significa que si se escribe $a_{ij}a_{jk}$ y se aplica la condición $a_{ij} = w_i/w_j \quad \forall i, j$ se deduce la siguiente expresión

$$a_{ij}a_{jk} = \frac{w_i}{w_j} \frac{w_j}{w_k} = \frac{w_i}{w_k} = a_{ik}$$

Esto es, si todos los elementos de la matriz de comparaciones satisfacen la condición (2) entonces resulta la relación de transitividad siguiente:

$$a_{ij}a_{jk} = a_{ik} \quad \forall i, j, k \quad (5)$$

lo que significa que cada comparación directa a_{ik} se confirma por una comparación indirecta $a_{ij}a_{jk} \quad \forall j$. Formalmente, la transitividad asegura que si un experto es capaz de dar comparaciones pareadas perfectamente consistentes no debería contradecirse a sí mismo. Una matriz que verifica la condición de transitividad se dice que es consistente. Ahora bien, la consistencia es

ocasionalmente lograda. Esto puede observarse fácilmente cuando se le solicita al experto que emplee números enteros y sus recíprocos (escala de Saaty). Por ejemplo, si $a_{ij} = 3$ y $a_{jk} = 1/2$ no es posible determinar un valor consistente para a_{ik} . Aún más, el número de transitividades (i, j, k) independientes en una matriz de orden n es igual a $n(n - 1)(n - 2)/6$. A pesar de la dificultad de determinar una matriz de comparaciones completamente transitiva (consistente), la consistencia es una propiedad muy deseable. Es por eso, que ciertos incumplimientos de la condición (5) son tolerados a través de la

definición de una razón de consistencia dada por

$$RC = CI/RI \tag{6}$$

con CI el índice de consistencia definido como $CI = (\lambda_{max} - n)/(n - 1)$ con λ_{max} el autovalor máximo de la matriz A y RI es el índice aleatorio que corresponde a una estimación del promedio de CI para un conjunto suficientemente grande de matrices de tamaño n generadas aleatoriamente. Valores de RI aparecen en la Tabla 2 (Alonso y Lamata, 2006).

Según Saaty (1980), en la práctica, deben aceptarse matrices de comparación con valores de $CR \leq 0.1$.

Tabla 2. Valores de RI

n	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0.5247	0.8816	1.1086	1.2479	1.3417	1.4057	1.4499	1.4854

Finalmente, para extraer el vector de prioridades se emplea el método de las columnas normalizadas que requiere la normalización de todas las columnas de la matriz A de manera que todos sus elementos sumen 1, posteriormente se toma el promedio por filas de la matriz de comparaciones normalizada para obtener los pesos w_1, \dots, w_n .

Modelos de lanzadores

Debido a que en la liga Nacional de la MLB el lanzador toma turno ofensivo y en la liga Americana es reemplazado por un bateador designado, se elaboraron cuatro modelos: el de abridor y el de relevista para

cada liga. Para desarrollar los modelos se conformó un equipo de expertos cuyas características se recogen en la Tabla 3.

En la Tabla 4 se describen los distintos coeficientes estadísticos utilizados en los modelos de lanzadores propuestos. En las Figuras 2, 3, 4 y 5 se muestran las estructuras jerárquicas con sus pesos de ponderación calculados para los cuatro modelos de lanzadores según su tipo y liga donde juega. Los pesos se obtuvieron aplicando la metodología AHP y combinando los resultados de los 5 expertos mediante la media geométrica.

Tabla 3. Equipo de expertos

EXPERTO	EXPERIENCIA
1	Exdirector deportivo del diario El Nacional. Director y creador de El Emergente y comentarista del equipo Cardenales de Lara.
2	Comunicador social graduado de la Universidad Monteávila, periodista deportivo con experiencia en los diarios Meridiano y 2001, entre otros medios deportivos.
3	Periodista egresado de la Universidad Católica Andrés Bello, creador de contenidos de béisbol, redactor en El Emergente.
4	Periodista deportivo con más de 40 años de experiencia en redacción deportiva entre El Nacional y El Emergente.
5	Periodista, integrante del departamento de prensa del equipo Tiburones de La Guaira y jefe del departamento de prensa de Centauros de La Guaira.

Tabla 4. Coeficientes estadísticos usados en los modelos para evaluar el desempeño de los lanzadores

Indicador	Descripción	Fórmula de cómputo
<i>Fld</i>	Coefficiente defensivo: refleja el porcentaje de veces que un jugador defensivo maneja correctamente una pelota bateada o lanzada	$Fld = (O + A)/(O + A + E)$ <i>O: Outs, A: Asistencias, E: Errores</i>
<i>Fld/ lgFld</i>	Coefficiente defensivo con respecto a la liga: Si es mayor que 1 el jugador defensivo se encuentra por encima del promedio defensivo de la liga	$Fld/ lgFld$ <i>lg Fld:</i> promedio defensivo con respecto a la liga
<i>ERA</i>	Promedio de carreras: Corresponde al promedio de carreras limpias otorgadas por un lanzador durante un juego.	$ERA = (9 * ER)/IP$ <i>ER: carreras concedidas</i> <i>IP: entradas lanzadas</i>
<i>WHIP</i>	Walks and Hits per Innings Pitched: Evalúa la capacidad del lanzador para mantener jugadores fuera de las bases.	$WHIP = (BB + H)/IP$ <i>H: Hits</i> <i>BB: Bases por bolas</i>
<i>AVE</i>	Promedio de bateo en contra: Es la tasa de Hits por turno al bate contra un lanzador.	$AVE = H/AB$ <i>AB: Turnos al bate</i>
<i>P/IP</i>	Lanzamientos por entradas lanzadas: Evalúa la eficiencia de un lanzador para hacer <i>out</i> a los bateadores.	P/IP <i>P: Número de lanzamientos</i>
<i>W - L</i>	Coefficiente de victorias y derrotas	$W - L = W/(W + L)$
<i>S - OS</i>	Juegos salvados sobre oportunidad de salvados	S/OS
<i>AVG</i>	Promedio al bate (jugador a la ofensiva)	$AVG = H/AB$
<i>OBP</i>	Coefficiente de embase: Refleja que tan a menudo se embasa un jugador por vías diferentes al error defensivo.	$OBP = \frac{H + BB + HBP}{AB + BB + HBP + SF}$ <i>HBP: Golpeado por lanzador</i> <i>SF: Elevado de sacrificio</i>
<i>SLG</i>	Coefficiente de remolque: Representa el número de bases alcanzadas por un bateador por turno al bate.	$SLG = \frac{(H + 2 * 2B + 3 * 3B + 4 * HR)}{AB}$ <i>2B: Doble, 3B: Triple, HR: Homeru</i>

Figura 2. Modelo 1 de lanzador abridor de la liga Americana

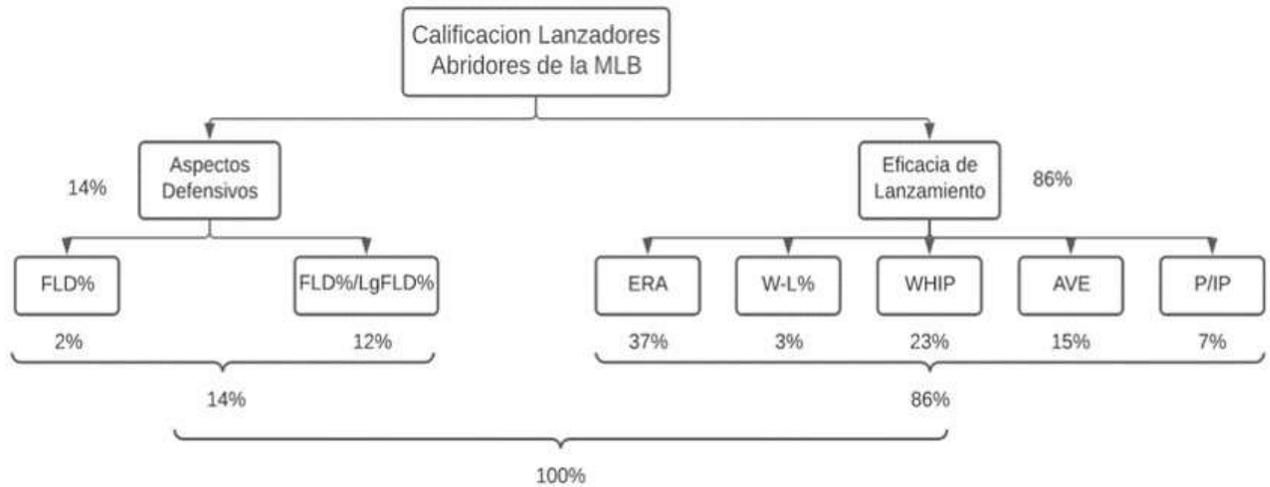


Figura 3. Modelo 2 de lanzador relevista de la liga Americana

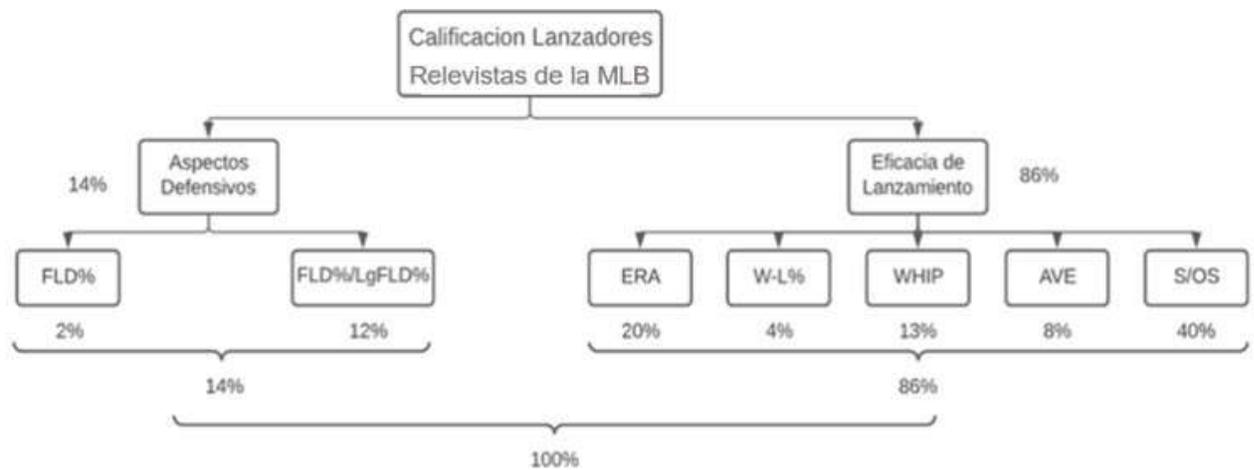


Figura 4. Modelo 3 de lanzador abridor de la liga Nacional

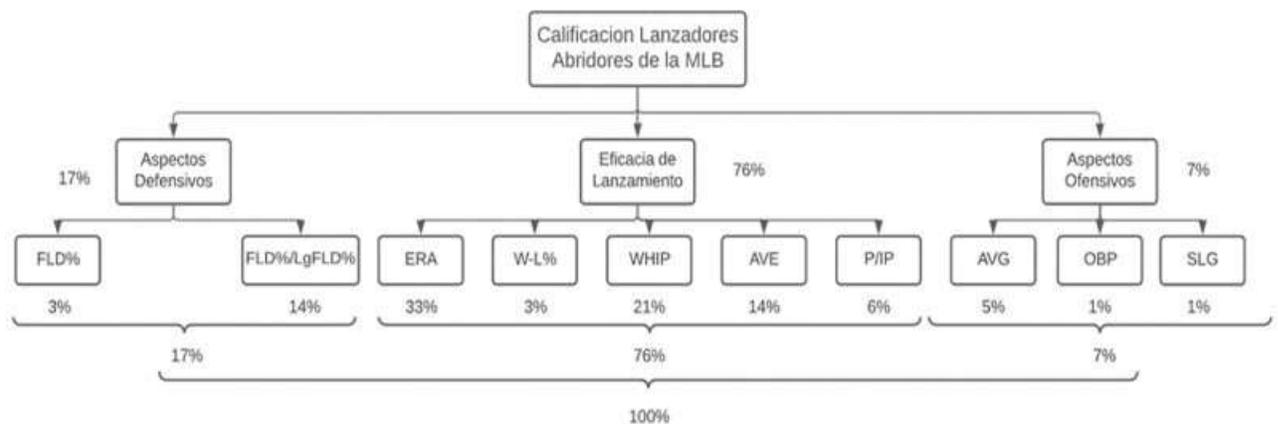
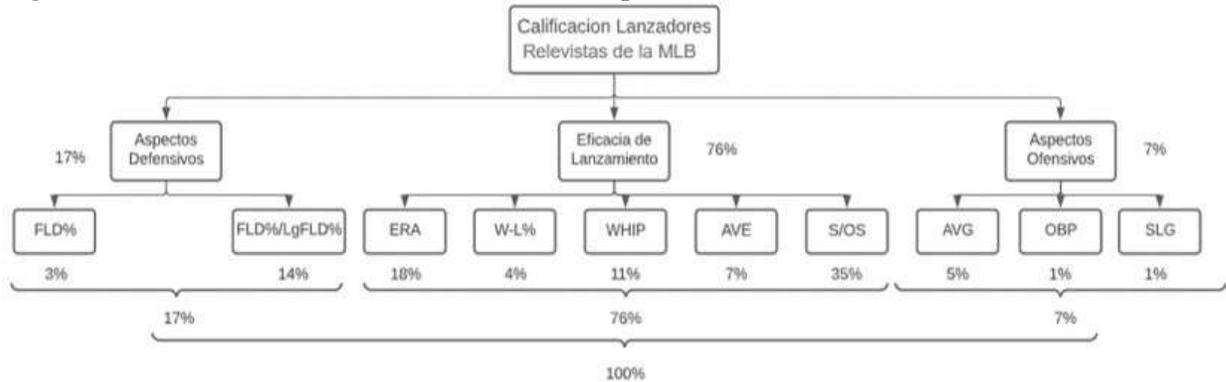


Figura 5. Modelo 4 de lanzador relevista de la liga Nacional



A continuación se ahonda brevemente en el procedimiento de obtención de los diferentes pesos de los modelos. Se va a considerar como ejemplo parte del modelo 1 de la Figura 2.

Para determinar los pesos del nivel de criterios se aplicaron encuestas a los cinco expertos. El experto 1 respondió como se indica en la Tabla 5. De donde resulta la matriz de comparación pareada

$$A_1 = \begin{pmatrix} 1 & 0.2 \\ 5 & 1 \end{pmatrix} \quad (7)$$

Aplicando un procedimiento similar se computan las matrices de los expertos restantes

$$A_2 = \begin{pmatrix} 1 & 0.167 \\ 6 & 1 \end{pmatrix}, A_3 = \begin{pmatrix} 1 & 0.143 \\ 7 & 1 \end{pmatrix}, A_4 = \begin{pmatrix} 1 & 0.2 \\ 5 & 1 \end{pmatrix}, A_5 = \begin{pmatrix} 1 & 0.143 \\ 7 & 1 \end{pmatrix} \quad (8)$$

Estas matrices se combinan en una sola, mediante el cálculo de la media geométrica. Luego, la matriz resultante se normaliza a través de la suma por columna y el vector de prioridades se obtiene computando el promedio de las filas de la matriz normalizada. Las operaciones pueden apreciarse en la Tabla 6.

Tabla 5. Encuesta aplicada al experto 1 para evaluar su preferencia en el nivel de criterios del modelo de la Figura 2

	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Aspecto defensivo						X			
Eficacia de lanzamiento									

Tabla 6. Vector de pesos resultantes en el nivel de criterios del modelo de la Figura 2

Matriz de comparaciones (media geométrica)	Matriz normalizada		Vector de pesos
1	0.14	0.14	0.14
6	0.86	0.86	0.86

Para entender como se trabaja en el nivel de subcriterios del modelo 1 de la Fig. 2 se muestra como se obtienen los pesos de los subcriterios *coeficiente defensivo (Fld)* y *coeficiente defensivo con respecto a la liga*

(*Fld/lgFld*). Luego de consultar a los expertos y de agregar las matrices de comparación a través de la media geométrica se obtienen los resultados de la Tabla 7.

Tabla 7. Vector de pesos resultantes en parte del nivel de subcriterios del modelo 1 de la Figura 2

Matriz de comparaciones (media geométrica)		Matriz normalizada		Vector de pesos
1	0.2	0.167	0.167	0.167
5	1	0.833	0.833	0.833

Finalmente, los pesos del nivel de subcriterios defensivos $(0.167, 0.833)^T$ se multiplican por el peso del *aspecto defensivo* (0.14). Lo que origina $(0.02, 0.12)^T$ y de esta manera se determina la distribución de la importancia de un 14 % que los expertos

otorgaron al *aspecto defensivo* dentro de los subcriterios *coeficiente defensivo* y *coeficiente defensivo con respecto a la liga*. Repitiendo este procedimiento se obtienen los pesos restantes del modelo 1 de la Figura 2 y de cualquiera de los otros tres modelos que aparecen en la Figuras 3, 4 y 5.

RESULTADOS y DISCUSIÓN

En esta sección, los distintos modelos jerárquicos de lanzadores serán evaluados mediante cuatro pruebas. En la primera, se aplicará a los tres finalistas abridores, tanto de la Liga Americana (Modelo 1) como de la Liga Nacional (Modelo 3) del premio *Cy Young* del año 2021. En la segunda, a los tres finalistas relevistas del premio *Trevor Hoffman* del año 2017 (Modelo 4). En la tercera, a los tres finalistas relevistas del premio *Mariano Rivera* del año 2017 (Modelo 2). Finalmente, la cuarta prueba, se aplicará a un conjunto de abridores

venezolanos que hicieron carrera en la MLB (Modelo 1). Todas las estadísticas necesarias se consultaron sin dificultad en los sitios web de la *mlb* y de la cadena deportiva de TV *espn*.

Prueba 1: Premio *Cy Young* Liga Americana.

Los finalistas para el premio *Cy Young* durante la temporada 2021 de la Liga Americana fueron los abridores: Gerrit Cole (*Yankees*), Lance Lynn (*White Sox*) y Robbie Ray (*Blue Jays*). Se empleó el Modelo 1 y las estadísticas consultadas de los lanzadores aparecen en la Tabla 8.

Tabla 8. Estadísticas de abridores finalistas de la Liga Americana para el premio *Cy Young* de 2021

	<i>Fld</i>	<i>Fld/lgFld</i>	<i>ERA</i>	<i>W – L</i>	<i>WHIP</i>	<i>AVE</i>	<i>P/IP</i>
Gerrit Cole	1.00	1.02	3.23	0.67	1.06	0.223	16.37
Lance Lynn	0.80	0.81	2.69	0.65	1.07	0.209	17.07
Robbie Ray	0.95	0.96	2.84	0.65	1.04	0.210	16.25

Dado que las estadísticas *ERA*, *WHIP*, *AVE* y *P/IP* son inversas (un mejor resultado corresponde a un mínimo), para utilizarlas dentro del formalismo AHP deben transformarse en directas. A ese fin

se determinaron los peores resultados durante el año 2021 para esas estadísticas y luego se sustrae de esa cantidad la estadística real con el objeto de obtener el equivalente directo. Los peores resultados

fueron $ERA = 5.82, WHIP = 1.53, AVE = 0.290$ y $P/IP = 17.85$. Luego de normalizar cada columna dividiendo por la suma de los valores de esa columna y multiplicando por el vector de pesos de los

subcriterios del modelo 1 se obtiene el resultado de la Tabla 9 (se está aplicando el método de la columna normalizada descrito al final de la sección 2)

Tabla 9. Resultados de la aplicación del modelo 1 a los abridores finalistas de la Liga Americana para el premio Cy Young de 2021

	Fld	Fld/lgFld	ERA	W - L	WHIP	AVE	P/IP		Ponderación de subcriterios (Modelo 1)		Vector de pesos		
Gerrit Cole	0.3636	0.3636	0.2977	0.3395	0.3310	0.2939	0.3834	*	Fld	0.02	=	0.321	Gerrit Cole
Lance Lynn	0.2909	0.2909	0.3598	0.3295	0.3239	0.3553	0.2021		Fld/lgFld	0.12		0.329	Lance Lynn
Robbie Ray	0.3455	0.3455	0.3425	0.3310	0.3451	0.3509	0.4150		ERA	0.37		0.349	Robbie Ray
									W - L	0.03			
									WHIP	0.23			
									AVE	0.15			
									P/IP	0.07			

Como se puede observar, la mejor alternativa arrojada por el modelo fue el lanzador Robbie Ray quien finalmente fue distinguido como el ganador del premio Cy Young 2021 de la Liga Americana.

Prueba 1: Premio Cy Young Liga Nacional.

Luego de convertir las variables inversas en directas y efectuar la normalización por columnas de las estadísticas de los abridores finalistas de la liga Nacional del premio Cy Young de la temporada 2021 se obtienen los resultados de la aplicación del modelo 3 en la Tabla 10.

Tabla 10. Estadísticas normalizadas de los abridores finalistas de la Liga Nacional para el premio Cy Young de 2021

	Fld	Fld/lgFld	ERA	W - L	WHIP	AVE	P/IP	AVG	OBP	SLG
Corbin Burnes	0.3299	0.3299	0.3463	0.3337	0.3315	0.3309	0.2500	0.4873	0.5525	0.4464
Max Scherzer	0.3422	0.3422	0.3432	0.3822	0.3764	0.3903	0.3212	0.0000	0.0000	0.0000
Zack Wheeler	0.3279	0.3279	0.3105	0.2831	0.2921	0.2788	0.4288	0.5127	0.4475	0.5536

Después de multiplicar los resultados de la Tabla 10 por el vector de pesos de los

subcriterios del modelo 3 de la Fig. 4 resulta el vector de prioridades

$(0.34, 0.33, 0.33)^T$ lo que indica que la elección que satisface de manera integral todos los atributos corresponde al abridor Corbin Burnes quien precisamente fue el ganador del premio Cy Young por la Liga Nacional en 2021.

Prueba 2: Premio Trevor Hoffman temporada 2017 (Liga Nacional).

Luego de convertir las variables inversas en directas (Peores estadísticas del año 2017: $ERA = 5.52, WHIP = 1.54, AVE = 0.308$) y efectuar la normalización de las estadísticas de los relevistas finalistas de la liga Nacional del premio Trevor Hoffman de la temporada 2017 se obtienen los resultados de la aplicación del modelo 4 en la Tabla 11.

Tabla 11. Estadísticas normalizadas de los relevistas finalistas de la Liga Nacional para el premio Trevor Hoffman de 2017

	Fld	Fld/lgFld	ERA	W - L	WHIP	AVE	S/OS	AVG	OBP	SLG
Wade Davis	0.3371	0.3371	0.2885	0.3571	0.2548	0.3202	0.3448	0.0000	0.0000	0.0000
Kenley Jansen	0.3248	0.3248	0.3763	0.5357	0.5032	0.3438	0.3471	1.0000	1.0000	1.0000
Corey Knebel	0.3381	0.3381	0.3351	0.1071	0.2420	0.3360	0.3081	0.0000	0.0000	0.0000

Después de multiplicar los resultados de la Tabla 11 por el vector de pesos $(0.03, 0.14, 0.18, 0.04, 0.11, 0.07, 0.35, 0.05, 0.01, 0.01)^T$ de los subcriterios del modelo 4 de la Fig. 5 resulta el vector de prioridades $(0.30, 0.42, 0.28)^T$ lo que indica que la elección que satisface de manera integral todos los atributos corresponde al relevista Kenley Jansen quien precisamente fue el ganador del premio Trevor Hoffman por la Liga Nacional en 2017.

Prueba 3: Premio Mariano Rivera temporada 2017 (Liga Americana).

Luego de convertir las variables inversas en directas y efectuar la normalización

de las estadísticas de los relevistas finalistas de la liga Americana del premio Mariano Rivera de la temporada 2017 se obtienen los resultados de la aplicación del modelo 2 en la Tabla 12. Después de multiplicar los resultados de la Tabla 12 por el vector de pesos de los subcriterios del modelo 2 de la Fig. 3 resulta el vector de prioridades $(0.31, 0.36, 0.33)^T$ lo que indica que la elección que satisface de manera integral todos los atributos corresponde al relevista Craig Kimbrel quien precisamente fue el ganador del premio Mariano Rivera por la Liga Nacional en 2017.

Tabla 12. Estadísticas normalizadas de los relevistas finalistas de la Liga Americana para el premio Mariano Rivera de 2017

	Fld	Fld/lgFld	ERA	W - L	WHIP	AVE	S/OS
Ken Giles	0.3214	0.3214	0.2930	0.2900	0.3261	0.3051	0.3555
Craig Kimbrel	0.3571	0.3571	0.3722	0.3900	0.3739	0.3559	0.3365
David Robertson	0.3214	0.3214	0.3348	0.3186	0.3000	0.3390	0.3281

Prueba 4:

En esta última prueba, se evaluarán una serie de lanzadores abridores venezolanos emblemáticos de la historia de la MLB. Los mismos son: Carlos Zambrano, Wilson Álvarez, Freddy García, Johan Santana y Félix Hernández. Durante esta prueba se utilizará el Modelo 1. Sin embargo, al tratarse de una serie de lanzadores que jugaban en diferentes décadas, no se tomará en cuenta el

coeficiente defensivo con respecto a la liga (estadística de aparición más reciente) por lo que el coeficiente defensivo absorberá el total de 14%. La Tabla 13 muestra las estadísticas (directas) de todos los lanzadores. Después de efectuar la normalización y la multiplicación por el vector de pesos $(0.14, 0.37, 0.03, 0.23, 0.15, 0.07)^T$ del modelo 1 se obtiene la clasificación de la Tabla 14.

Tabla 13. Estadísticas de abridores venezolanos emblemáticos que hicieron carrera en la MLB

	Fld	ERA	W - L	WHIP	AVE	P/IP
Carlos Zambrano	0.9480	3.33	0.5919	0.6570	0.1060	1.9900
Wilson Álvarez	0.9700	3.03	0.5258	0.4000	0.0940	2.2100
Freddy García	0.9700	2.84	0.5909	0.4900	0.0840	2.8800
Johan Santana	0.9460	3.79	0.6406	0.6600	0.1140	3.2500
Felix Hernández	0.9640	3.57	0.5541	0.5800	0.1000	3.2500

Tabla 14. Ranking de lanzadores abridores venezolanos conforme a su carrera en la MLB

LANZADOR	Ponderación
Johan Santana	0.227
Félix Hernández	0.210
Carlos Zambrano	0.207
Freddy García	0.180
Wilson Álvarez	0.176

CONCLUSIONES

Un enfoque científico basado en la metodología AHP puede ser empleado en el análisis del desempeño deportivo y de esta manera contribuir en la definición de estrategias de juegos, en el otorgamiento de premios y en la resolución de problemas salariales. En esta investigación se elaboraron varios modelos que permiten seleccionar lanzadores de béisbol en sus roles de abridor y relevista a través de la evaluación de su desempeño deportivo

integral a través de la metodología AHP. Los diferentes modelos fueron validados mediante la adjudicación de premios emblemáticos de la MLB para abridores (Cy Young) y relevistas (Mariano Rivera y Trevor Hoffman). Los resultados de los modelos coinciden con los ganadores de los premios para las temporadas que se consideraron confirmando la factibilidad de los modelos propuestos. Una contribución de los modelos es que no

requieren la participación del equipo de expertos en la fase de evaluación de los jugadores debido a que las variables de los modelos son todas numéricas correspondiendo a las estadísticas de desempeño del jugador. Aunque los modelos se pensaron para emplearse en las grandes ligas de los Estados Unidos son lo

suficientemente generales para adaptarse a cualquier liga de béisbol profesional, en este sentido, sería recomendable su aplicación en la liga venezolana de béisbol profesional donde hay una carencia en el empleo de instrumentos matemáticos científicos para evaluar el desempeño de jugadores y equipos.

REFERENCIAS

- Alonso, J. & Lamata, M. (2006). Consistency in the analytic hierarchy process: a new approach. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge based Systems*, 14(4), 445-459. <https://doi.org/10.1142/S0218488506004114>
- Anderson, T. & Sharp, G. (1997). A new measure of baseball batters using DEA. *Annals of Operations Research*, 73, 141-155. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1018921026476>
- Apostolou, B. & Hassell, J. M. (1993). An overview of the analytic hierarchy process and its use in accounting research. *Journal of Accounting Literature*, 12(1), 1-28.
- Bodin, L. (1999). Use of the Analytic Hierarchy Process in major League Baseball. *Proc of ISAHF '99*, Japón.
- Bodin, L., & Epstein, E. (2000). Who's on First—with probability 0.4. *Computers & Operations Research*, 27(3), 205-215. [https://doi.org/10.1016/S0305-0548\(99\)00002-7](https://doi.org/10.1016/S0305-0548(99)00002-7)
- Brown, A. (2022). Arbitration in the classroom: a classroom experiment to model MLBs salary arbitration. In *Teaching Sports Economics and Using Sports to Teach Economics* (pp. 208-219). Edward Elgar Publishing.
- Chen, C. & Chen, T. (2009). Starting Pitchers' Skills Positioning of CPBL in 2008. *Journal of Physical Education*, 8, 109-125.
- Chen, W. & Johnson, A. (2010). The dynamics of performance space of MLB pitchers. *Annals of Operations Research*, 181(1), 287-302. <https://doi.org/10.1007/s10479-010-0743-9>
- Chen, C., Lin, M., Lee, Y., Chen, T. & Tseng, C. (2010). Best starting pitcher of the Chinese Professional Baseball League in 2009. *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Sport and Health Sciences*, 4(12), 2244-2246. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1057327>
- Chen, C., Lee, Y. & Tsai, C. (2014). Professional Baseball Team Starting Pitcher Selection Using AHP and TOPSIS Methods. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 14(2), 545-563. <https://doi.org/10.1080/24748668.2014.11868742>
- Chen, C. C., Chuang, C. J., Kuo, T. S., & Chen, W. I. (2018). Relationship between player performance and salary in a professional baseball league. *European Journal of Physical Education and Sport Science*, 4(3), 89-107. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1211628>
- Erturan-Ogut, E. E., & Kula, U. (2022). Selecting the right location for sports facilities using analytical hierarchy process. *Journal of Facilities Management*, . <https://doi.org/10.1108/JFM-09-2021-0103>
- Gould, E. & Winter, E. (2009). Interaction between worker and the technology of production: evidence from professional

- baseball. *The Review of Economics and Statistics*, 91(1), 188-200. <http://www.mitpressjournals.org/doi/pdf/10.1162/rest.91.1.188>
- Hauptert, M. J. (2007a). Bonus clauses and the standard player contract. *The Baseball Research Journal*, 36, 109-116.
- Hauptert, M. (2007). *The Economic History of Major League Baseball*. EH.Net Encyclopedia. <https://eh.net/encyclopedia/the-economic-history-of-major-league-baseball/>
- Ho, W. (2008). Integrated analytic hierarchy process and its applications—A literature review. *European Journal of operational research*, 186(1), 211-228. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2007.01.004>
- Ho, W. & Ma, X. (2018). The state-of-the-art integrations and applications of the analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, 267(2), 399-414. <https://10.1016/j.ejor.2017.09.007>
- Howard, L. & Miller, J. (1993). Fair play for fair play: estimating pay equity in professional baseball with DEA. *The Academy of Management Journal*, 36(4), 882-894. <https://doi.org/10.2307/256763>
- Huang, J. H., & Hsu, Y. C. (2021). A Multidisciplinary Perspective on Publicly Available Sports Data in the Era of Big Data: A Scoping Review of the Literature on Major League Baseball. *Sage Open*, 11(4). <https://10.1177/21582440211061566>
- Lee, Y. H. (2018). Common factors in Major League Baseball game attendance. *Journal of Sports Economics*, 19(4), 583-598. <https://doi.org/10.1177/1527002516672061>
- Liberatore, M. J. & Nydick, R. L. (2008). The analytic hierarchy process in medical and health care decision making: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 189(1), 194-207. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2007.05.001>
- Lanoue, M. R. & Revetta Jr, J. J. (1993). An analytic hierarchy approach to major league baseball offensive performance ratings. *Mathematical and computer modelling*, 17(4-5), 195-209. [https://doi.org/10.1016/0895-7177\(93\)90188-5](https://doi.org/10.1016/0895-7177(93)90188-5)
- Manoj, M., Prashant, R., Parikh, V., & Chaudhary, A. (2018). American league baseball championship 2017 prediction using AHP. In *2018 International Conference on Communication, Computing and Internet of Things (IC3IoT)*, 469-473. <https://doi.org/10.1109/IC3IoT.2018.8668120>
- Mazur, M. (1994). *Evaluating the Relative Efficiency of Baseball Players*. In: *Data Envelopment Analysis: Theory, Methodology, and Applications*. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-011-0637-5_19
- Micheli, T. & Volz, V. (2012). Debating immortality: application of DEA to voting for the baseball HOF. *Managerial and Decision Economics*, 33(3), 177-188. <https://doi.org/10.1002/mde.2543>
- Nisel, S., & Özdemir, M. (2016). Analytic hierarchy process & analytic network process in sport: a comprehensive literature review. *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, 8(3), 405-429. <https://doi.org/10.13033/ijahp.v8i3.448>
- Nishizawa, K. (1995). A consistency improving method in binary AHP. *Journal of the operations research Society of Japan*, 38(1), 21-33. <https://doi.org/10.15807/jorsj.38.21>
- Panchal, S., & Shrivastava, A. K. (2022). Landslide hazard assessment using analytic hierarchy process (AHP): A case study of National Highway 5 in India. *Ain Shams Engineering Journal*, 13(3), 101626. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2021.10.021>
- Powers, A. T. (2015). *The business of baseball*. McFarland.

- Real, A. (2019). The Advantages of Incorporating Mechanisms from the Salary Arbitration Models of MLB and the NHL in a Salary Arbitration System in MLS. *Pepp. Disp. Resol. LJ*, 19, 1. <https://via.library.depaul.edu/jslcp/vol1/iss1/7>
- Saaty, T. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw Hill International.
- Saaty, T. (1990). How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*, 48, 9-26. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-I](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-I)
- Saaty, T. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83-98. <https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590>
- Vaidya, O. S., & Kumar, S. (2006). Analytic hierarchy process: An overview of applications. *European Journal of operational research*, 169(1), 1-29. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.04.028>
- Vargas, L. G. (1990). An overview of the analytic hierarchy process and its applications. *European journal of operational research*, 48(1), 2-8. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90056-H](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90056-H)
- Veisi, H., Deihimfard, R., Shahmohammadi, A., & Hydarzadeh, Y. (2022). Application of the analytic hierarchy process (AHP) in a multi-criteria selection of agricultural irrigation systems. *Agricultural Water Management*, 267, 107619. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107619>
- Vistuer-Valdés, J. (1995). *Béisbol. La acción de batear*. Playa, Cuba: Editorial Científico-Técnica.
- Wan, F. X., Hu, D., & Tian, J. (2014). Evaluation of college coach capacity in USA. *Advanced Materials Research*, 998, 1693-1696. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.998-999.1693>
- Yong, W. (2021, March). Analytic Hierarchy Process and Intelligent Evaluation of Regional Sports Economic Data. In 2021 International Conference on Intelligent Transportation, Big Data & Smart City (ICITBS) (pp. 371-374). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICITBS53129.2021.00098>

Autores

Pedro Teppa-Garran. Ingeniero Electricista, Universidad Metropolitana; MSc Ingeniería Electrónica, Universidad Simón Bolívar; MSc Matemáticas, Universidad Simón Bolívar; PhD Sistemas de Control, Université Paul Sabatier, Francia; Postdoctorado en Sistemas de Control, LAAS – CNRS, Francia. Profesor Titular jubilado, Universidad Simón Bolívar, Venezuela. Profesor Titular, Universidad Metropolitana, Venezuela.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6384-3185>

Email: ptepa@unimet.edu.ve

Carlos Fernández-Da Costa. Ingeniero de Producción Universidad Metropolitana, Venezuela.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-2471-995X>

Email: cfernandez@unimet.edu.ve

Recibido: 22-02-2023

Aceptado: 12-06-2023