LA IDONEA ASIGNACIÓN ARBITRAL CON ALTOS NIVELES DE INCERTIDUMBRE

Jaime Gil Lafuente, j.gil@ub.es, Universitat de Barcelona

Julio César Rojas Mora, jrojasmo7@alumnes.ub.edu, Universitat de Barcelona

RESUMEN

A través del desarrollo de la actividad deportiva, una de las situaciones que mayor desconfianza y problemas trae es la asignación de árbitros a los encuentros de cualquier liga o torneo. Los comités de designación arbitral suelen estar conformados por expertos que evalúan de manera subjetiva las características de partidos y árbitros, realizando asignaciones que pueden ser interpretadas por algunos como poco transparentes. En ciertos casos, se sustituye la decisión humana por la aleatoriedad computacional, cuya total transparencia raya en la ignorancia a la hora de ejecutar la tarea. Es por esto, que hemos realizado trabajos que mediante la utilización de técnicas derivadas de las lógicas multivalentes, permiten aprovechar el conocimiento de los expertos para hacer de la designación un proceso más ético y equilibrado. En este artículo presentamos una modificación del clásico algoritmo hungaro de König, con el fin de manejar la asignación de árbitros a partidos, considerando que el grado de incertidumbre existente hace que la forma más factible de representación de la información sea mediante intervalos de confianza.

PALABRAS CLAVE: Algoritmo “Húngaro”, Asignación, Incertidumbre, Intervalo de Confianza.

ABSTRACT

Through the history of the sports activity, one of the situations that greater distrust and problems brings is the assignment of referees to the games of a league or tournament. The committees of referee designation are usually formed by experts that evaluate, in a subjective way, the characteristics of games and referees, making their selections in a nontransparent way. In some cases, the decision making process is delgated on computational randomness, whose total transparency makes it almost ignorant in the execution of the task. For this reason, we have carried out a group of techniques based on the utilization of multivalued logics, that permit to take advantage of the knowledge of experts and to make the designation of referees a stable and more ethical process. In this article we present a modification of the classical hungarian algorithm by König, in order to handle the assignment of referees to games in leagues or tournaments, considering that the degree of existing uncertainty makes confidence intervals the most feasible form of representation of the information gathered.

KEYWORDS: Assignment Problem, Confidence Intervals, “Hungarian” Algorithm, Uncertainty.

1. INTRODUCCIÓN

En anteriores trabajos, hemos aportado distintas alternativas que nos han permitido asignar, de un modo coherente, diferentes árbitros a aquellos encuentros deportivos cuyas necesidades requerían unas condiciones físicas, anímicas y de conocimiento concretas y adaptadas a las características necesarias.
:
Desde el algoritmo de designación por eliminación de filas y columnas (también denominado Algoritmo "Kaufmann-Gil Aluja" (1986)) hasta el algoritmo "húngaro" de König (Kuhn, 1955)(Gil Lafuente, 2002)(Gil Lafuente, 2004), pasando por branch-and-bound (Little et al., 1993), hemos logrado establecer una trayectoria que ha podido demostrar, frente a distintas federaciones deportivas, un nivel de coherencia e imparcialidad inigualable.

Sin embargo, la lógica del ser humano lo lleva a actuar de forma impredecible y muy alejada de la mecanicidad debidamente definida en su momento como "*homo oeconomicus*". Las aportaciones realizadas hasta la fecha llevaban a los expertos a dar "valuaciones" que no daban pie al mínimo error (por ejemplo: "Grado de concentración: 0,6"), cuando en realidad la inestabilidad del ser humano o el desconocimiento de quienes los valoran conviene que lo lleven a utilizar intervalos de confianza (eneste caso: "Grado de concentración: entre 0,4 y 0,8").

Hemos querido dar, pues, un paso más hacia una adecuada modelización y toma de decisiones en el ámbito deportivo, teniendo en cuenta factores con altos valores de incertidumbre y para esto proponemos una variante del algoritmo "húngaro" de König que tome en cuenta la presencia de intervalos de confianza en las distancias calculadas.

2. EL PROBLEMA DE LA ASIGNACIÓN

La búsqueda de la imparcialidad, unida a la coherencia, ha sido el objetivo teórico de todo comité de designación arbitral, resumiéndose la mayoría de métodos a una fría e injusta aleatoriedad, o una asignación "dedocrática" con visos de peligrosa subjetividad.

Nuestra primera alternativa de asignación fue desarrollada mediante el algoritmo "Kaufmann-Gil Aluja", muy satisfactorio y de fácil comprensión para las federaciones a las que fue presentado. Sin embargo, este método que utiliza la simple eliminación de filas y columnas según la distancia mínima a cada paso, podía llevar a un desequilibrio, pues los primeros asignados eran muy idóneos, mientras que los últimos lo eran exclusivamente por descarte.

Posteriormente, la utilización del algoritmo "branch-and-bound" y del algoritmo "húngaro" de Kuhn permitió dar solución a este problema, ya que las asignaciones lograban el equilibrio deseado, aunque su buen funcionamiento siempre debía quedar supeditado a la renovación constante de los datos aportados por cada uno de los expertos integrantes de comité de designación arbitral.

No es de extrañar que las valuaciones otorgadas a cada colegiado puedan estar sujetas a dudas y, en consecuencia, niveles de incertidumbre. Por ello, consideramos oportuno dar a los citados expertos una herramienta que les facilitará la tarea de reflejar su puntos de vista subjetivos del estado de forma física y anímica de los árbitros: el intervalo de confianza.

3. NECESIDADES DE LOS ENCUENTROS VS. CUALIDADES ARBITRALES DEL MOMENTO

Todos los partidos de una jornada deportiva, sea de liga regular o de torneo eliminatorio, suelen requerir colegiados con características concretas y específicas. Por ejemplo, partidos o encuentros en donde se enfrentan dos equipos con altos niveles habituales de agresividad, conviene sean arbitrados por personas con un mayor nivel de intransigencia con jugadas duras. La capacidad de diálogo es otro de los factores necesario en mayor o menor nivel según el partido, así como la fortaleza mental, debilidad frente a una atmósfera hostil, etc.

Para que el proceso tenga un resultado aceptable, debe contar, como ya hemos comentado en trabajos anteriores, con la información más actualizada posible de las condiciones de los árbitros "candidatos" a dirigir algunos de los partidos. Recomendamos que antes de cada jornada se recopilen los datos acerca de los distintas variables de exigencia arbitral. La información obtenida permitirá realizar descripciones tanto de las necesidades de cada partido como de lo que cada árbitro puede ofrecer en cada momento, que llevadas a subconjuntos borrosos pueden utilizarse para la asignación arbitral.

Supongamos que tenemos un conjunto de *k* variables sobre las que obtendremos información de los *j* árbitros que hay disponibles para *i* partidos.

Con estas variables se elabora un subconjunto borroso para cada árbitro *j*, donde se reflejen las condiciones que, sobre las variables evaluadas, presenta cada uno:

	A	B	C	D	...	*K*	
X_j	$^{a}_{j}$	$^{b}_{j}$	$^{c}_{j}$	$^{d}_{j}$	...	$^{k}_{j}$	, j=1,..,4

donde:

{A,...,K} son las variables o características.

{ $^{a}_{j}$,..., $^{k}_{j}$ }: los valores asignados al árbitro *j* con respecto a cada una de las variables o características.

Idénticamente se construye un subconjunto borroso para cada partido que se jugará, donde se vacíen las necesidades que, sobre las variables evaluadas, cada uno tiene:

	A	B	C	D	...	K	
Y_i	$^{a}_{i}$	$^{b}_{i}$	$^{c}_{i}$	$^{d}_{i}$	...	$^{k}_{i}$	, i=1,..,3

en donde:

{A,..,K} son las variables o características.

y { ${}^{a}_{i}$,.., ${}^{k}_{i}$ } las necesidades del partido *i* con respecto a cada una de las variables o características.

A partir de esta información se procede a realizar el cálculo de las distancias relativas de Hamming que cada árbitro tiene con respecto a cada partido, recomendando un procedimiento que hemos previamente presentado (Gil Lafuente, 2004).

Es muy posible que si a los evaluadores, miembros del comité de designaciones, se les diese la oportunidad, otorgarían intervalos de confianza a algunos de los valores requeridos, tanto para los árbitros como para los partidos. Cuando en el cálculo de las "distancias relativas de Hamming" nos encontremos con el caso de realizar la resta entre un intervalo de confianza y una ponderación fija, tomaremos el siguiente criterio:

$_i = \quad ; \quad _j = [\ _1 ;\ _2]$

Si $_1 \leq \ _2$: $_i - \ _j = [0 \,; max \quad - \ _1 , \ - \ _2 \ ]$

de lo contrario: $_i - \ _j = [min \quad - \ _1 , \ - \ _2 \ ; max \quad - \ _1 , \ - \ _2 \ ]$

Una vez obtenida la matriz de distancias procedemos a aplicar el algoritmo "húngaro" modificado que hemos desarrollado.

4. "ALGORITMO HÚNGARO" CON INTERVALOS DE CONFIANZA

El algoritmo "húngaro" de König permite la asignación de recursos a tareas mediante la minimización de los costos de asociar el *i*-ésimo recurso a la *j*-ésima tarea. El objetivo de este trabajo consiste en adaptar el algoritmo "húngaro" a la teoría de los subconjuntos borrosos, utilizando como costos intervalos de confianza en [0, 1] en vez de números reales. Para esto, utilizaremos los criterios de comparación de intervalos de confianza que en anteriores trabajos hemos establecido (Gil Lafuente, 1997):

1. Si el extremo superior de un intervalo A es menor que el extremo inferior de otro B, entonces $A \quad B$:

$$A = [0{,}1 \,; 0{,}2] \ ; \ B = [0{,}4 \,; 0{,}5]$$

$$a_2 = 0{,}2 \quad b_1 = 0{,}4$$

$$A \quad B .$$

2. Si el extremo superior de A es menor que el extremo superior de B y también el extremo inferior de A es menor que el extremo inferior de B, entonces $A \quad B$:

$$A=[0{,}1\,;0{,}3]\ ;\ B=[0{,}2\,;0{,}5]$$

$$a_1=0{,}1 \quad b_1=0{,}2\ ;\ a_2=0{,}2 \quad b_2=0{,}5$$
$$A \quad B.$$

Un caso particular se presenta cuando el extremo superior de A es igual al extremo superior de $B:$

$$A=[0{,}1\,;0{,}5]\ ;\ B=[0{,}2\,;0{,}5]$$

$$a_1=0{,}1 \quad b_1=0{,}2\ ;\ a_2=0{,}5=b_2=0{,}5$$
$$A \quad B,$$

o bien cuando el extremo inferior de A es igual al extremo inferior de B :

$$A=[0{,}1\,;0{,}3]\ ;\ B=[0{,}1\,;0{,}5]$$

$$a_1=0{,}1=b_1=0{,}1\ ;\ a_2=0{,}3 \quad b_2=0{,}5$$
$$A \quad B.$$

3. Si el extremo superior de A es menor que el extremo superior de B , pero el extremo inferior de A es mayor que el extremo inferior de B , se debe recurrir a criterios complementarios:

   a) Si el punto medio de A es menor que el de B , entonces $A \quad B$:

$$A=[0{,}2\,;0{,}3]\ ;\ B=[0{,}1\,;0{,}5]$$

$$\frac{a_1 \quad a_2}{2}=\frac{0{,}2 \quad 0{,}3}{2}=0{,}25 \qquad \frac{b_1 \quad b_2}{2}=\frac{0{,}1 \quad 0{,}5}{2}=0{,}3$$
$$A \quad B.$$

   b) Si el punto medio de A es igual al de B , entonces $A \quad B$ si la diferencia entre los extremos de A es menor que la de B :

$$A=[0{,}2\,;0{,}4]\ ;\ B=[0{,}1\,;0{,}5]$$

$$\frac{a_1 \quad a_2}{2}=\frac{0{,}2 \quad 0{,}3}{2}=0{,}25\ =\ \frac{b_1 \quad b_2}{2}=\frac{0{,}1 \quad 0{,}5}{2}=0{,}3$$
$$a_2-a_1=0{,}4-0{,}2=0{,}2 \qquad b_2-b_1=0{,}5-0{,}1=0{,}4$$
$$A \quad B.$$

Es obvio que si el objetivo del algoritmo "húngaro" es buscar la combinación óptima de recursos-tareas que minimice los costos, si se utilizan los criterios anteriormente expuestos en vez de la sencilla comparación de números reales, se estará minimizando en el campo de los intervalos de confianza.

4.1 ALGORITMO

1. Se construye la matriz de costos *C* ubicando los recursos (árbitros) en las columnas y las tareas (partidos) en las filas. Se agregan tantas filas o columnas como sea necesario para lograr una matriz cuadrada, colocando en cada elemento de éstas el intervalo [1;1], que indica el máximo costo o distancia posible para estas opciones artificialmente incluidas.
2. Sea u_j el valor mínimo de la columna *j*-ésima de la matriz *C*, se construye *C´* tal que:

$$C´_{i,j} = C_{i,j} - u_j , \qquad \{ j = 1, \quad , n ; i = 1, \quad , n \}.$$

Para esta operación se utiliza la sustracción de Minkowski, que permite identificar los ceros como el intervalo [0;0]:

$$A \;\; m \;\; B = [a_1 - b_1 ; a_2 - b_2].$$

El problema con esta operación es que los extremos del intervalo resultante pueden quedar cambiados, es decir, el extremo mayor cambia de puesto con el menor, como por ejemplo en:

$$A = [0{,}3 ; 0{,}6] \; ; \; B = [0{,}1 ; 0{,}5]$$

$$A \;\; m \;\; B = [0{,}3 - 0{,}1 ; 0{,}6 - 0{,}5]$$

$$A \;\; m \;\; B = [0{,}2 ; 0{,}1].$$

La solución utilizada al presentarse este caso es la modificación de la sustracción de Minkowski, para intercambiar de nuevo los extremos:

$$A \;\; m´ \;\; B = \begin{cases} [a_1 - b_1 ; a_2 - b_2] ; & si \quad a_1 - b_1 \leq a_2 - b_2 \\ [a_2 - b_2 ; a_1 - b_1] ; & si \quad a_1 - b_1 \quad a_2 - b_2 \end{cases}.$$

La solución para el ejemplo anterior, utilizando este nuevo operador, será:

$$A \;\; m´ \;\; B = [0{,}1 ; 0{,}2].$$

3. Sea v_i el valor mínimo de la *i*-ésima fila de la matriz *C´*, se reconstruye C´ tal que:

$$C´_{i,j} = C_{i,j} - v_i , \qquad \{ j = 1, \quad , n ; i = 1, \quad , n \}.$$

De esta manera se garantiza tener al menos un intervalo [0;0] en cada fila y cada columna de *C´*. En caso que todos los $C´_{i,j}$ sean iguales a [0;0], se habrá obtenido una solución trivial.
4. Para cada fila, comenzando desde la fila que tiene menos intervalos [0;0], se encuadra uno de los intervalos [0;0] de cada fila y se tachan los demás que se encuentren en la misma fila o columna que éste. Si se obtiene un único intervalo [0;0] encuadrado para cada fila y columna, se ha llegado a la solución.
5. Se señalan con una flecha todas las filas en las que no exista un intervalo [0;0] encuadrado.
6. Se señalan con una flecha todas las columnas en las que existe un intervalo [0;0] tachado en una fila señalada por una flecha .
7. Se señalan con una flecha aquellas filas en las que existe un intervalo [0;0] encuadrado en una columna señalada por una flecha .
8. Se traza una línea en las filas no marcadas por flechas y una línea en las columnas si marcadas por flechas.

9. Se escoge, de entre los elementos de la matriz que no han sido rayados, el menor de los intervalos. Se resta este intervalo a cada elemento de las columnas no rayadas y se suma a cada elemento de las filas rayadas. Se regresa al paso 4.

5. UN EJEMPLO NUMÉRICO

Para observar el funcionamiento del método propuesto, presentamos un caso en el que cuatro árbitros deben ser asignados a tres partidos. Las distancias, previamente calculadas, se presentan en la matriz *C*:

	Árbitro 1	Árbitro 2	Árbitro 3	Árbitro 4
Partido 1	[0,4;0,8]	[0,3;0,8]	[0,0;1,0]	[0,6;0,8]
Partido 2	[0,0;0,4]	[0,8;0,8]	[0,5;0,7]	[0,3;0,4]
Partido 3	[0,5;0,7]	[0,2;0,5]	[0,3;0,9]	[0,5;0,7]
Suplente	[1,0;1,0]	[1,0;1,0]	[1,0;1,0]	[1,0;1,0]

Se agrega una fila artificial como un puesto de suplente, colocando en todos sus elementos el intervalo [1,0;1,0], tal y como establece la metodología. Utilizando la sustracción modificada de Minkowski, se realizan las restas de mínimos por filas y columnas, obteniendo la matriz *C´*, sobre la que se corrigen los intervalos donde los extremos han resultados intercambiados:

	Árbitro 1	Árbitro 2	Árbitro 3	Árbitro 4
Partido 1	[0,4;0,4]	[0,1;0,3]	**[0,0;0,0]**	[0,3;0,4]
Partido 2	**[0,0;0,0]**	[0,3;0,6]	[0,0;0,5]	**[0,0;0,0]**
Partido 3	[0,3;0,5]	**[0,0;0,0]**	[0,0;0,3]	[0,2;0,3]
Suplente	[0,0;0,6]	[0,0;0,5]	**[0,0;0,0]**	[0,0;0,7]

Una vez obtenido al menos un cero, representados por intervalos [0,0;0,0] en negrillas, por fila y columna, se procede al encuadrado y tachadura de ceros obteniendo la siguiente matriz:

	Árbitro 1	Árbitro 2	Árbitro 3	Árbitro 4
Partido 1	[0,4;0,4]	[0,1;0,3]	**[0,0;0,0]**	[0,3;0,4]
Partido 2	**[0,0;0,0]**	[0,3;0,6]	[0,0;0,5]	~~**[0,0;0,0]**~~
Partido 3	[0,3;0,5]	**[0,0;0,0]**	[0,0;0,3]	[0,2;0,3]
Suplente	[0,0;0,6]	[0,0;0,5]	~~**[0,0;0,0]**~~	[0,0;0,7]

Se marcan con una flecha las filas en las que no exista un intervalo [0,0;0,0] encuadrado:

	Árbitro 1	Árbitro 2	Árbitro 3	Árbitro 4

Partido 1	[0,4;0,4]	[0,1;0,3]	**[0,0;0,0]**	[0,3;0,4]
Partido 2	**[0,0;0,0]**	[0,3;0,6]	[0,0;0,5]	~~**[0,0;0,0]**~~
Partido 3	[0,3;0,5]	**[0,0;0,0]**	[0,0;0,3]	[0,2;0,3]
Suplente	[0,0;0,6]	[0,0;0,5]	~~**[0,0;0,0]**~~	[0,0;0,7]

A continuación, se marcan con una flecha todas las columnas en las que existe un intervalo [0,0;0,0] tachado en una fila señalada por una flecha :

	Árbitro 1	Árbitro 2	Árbitro 3	Árbitro 4
Partido 1	[0,4;0,4]	[0,1;0,3]	**[0,0;0,0]**	[0,3;0,4]
Partido 2	**[0,0;0,0]**	[0,3;0,6]	[0,0;0,5]	~~**[0,0;0,0]**~~
Partido 3	[0,3;0,5]	**[0,0;0,0]**	[0,0;0,3]	[0,2;0,3]
Suplente	[0,0;0,6]	[0,0;0,5]	~~**[0,0;0,0]**~~	[0,0;0,7]

Finalmente, se marcan con una flecha las filas en que existe un intervalo [0,0;0,0] encuadrado en una columna señalada por una flecha :

	Árbitro 1	Árbitro 2	Árbitro 3	Árbitro 4
Partido 1	[0,4;0,4]	[0,1;0,3]	**[0,0;0,0]**	[0,3;0,4]
Partido 2	**[0,0;0,0]**	[0,3;0,6]	[0,0;0,5]	~~**[0,0;0,0]**~~
Partido 3	[0,3;0,5]	**[0,0;0,0]**	[0,0;0,3]	[0,2;0,3]
Suplente	[0,0;0,6]	[0,0;0,5]	~~**[0,0;0,0]**~~	[0,0;0,7]

Una vez realizada esta fase, se procede a trazar una línea de color gris en las filas no marcadas y en las filas si marcadas por flechas:

	Árbitro 1	Árbitro 2	Árbitro 3	Árbitro 4
Partido 1	[0,4;0,4]	[0,1;0,3]	**[0,0;0,0]**	[0,3;0,4]
Partido 2	**[0,0;0,0]**	[0,3;0,6]	[0,0;0,5]	**~~[0,0;0,0]~~**
Partido 3	[0,3;0,5]	**[0,0;0,0]**	[0,0;0,3]	[0,2;0,3]
Suplente	[0,0;0,6]	[0,0;0,5]	**~~[0,0;0,0]~~**	[0,0;0,7]

Se construye una nueva matriz con los elementos no marcados por las líneas grises:

[0,4;0,4]	[0,1;0,3]	[0,3;0,4]
[0,0;0,6]	[0,0;0,5]	[0,0;0,7]

De esta matriz, se selecciona el menor intervalo, que en este caso será [0,1;0,3], restándolo a los intervalos de las columnas seleccionadas y sumándolo a los elementos de las filas no seleccionadas (las transformaciones necesarias para que los elementos permanezcan dentro del intervalo [0,0;1,0] se realizan luego de hacer la suma, para no perturbar la identificación de los ceros). Volviendo al paso 4, se identifica una posible solución encuadrando y tachando intervalos [0,0;0,0], siempre comenzando desde las filas que tienen menos número de ellos:

	Árbitro 1	Árbitro 2	Árbitro 3	Árbitro 4
Partido 1	[0,1;0,3]	~~[0,0;0,0]~~	~~[0,0;0,0]~~	[0,1;0,2]
Partido 2	[0,0;0,0]	[0,3;0,6]	[0,1;0,8]	~~[0,0;0,0]~~
Partido 3	[0,3;0,5]	[0,0;0,0]	[0,1;0,6]	[0,2;0,3]
Suplente	[0,0;0,3]	[0,0;0,2]	[0,0;0,0]	[0,0;0,4]

Al no haberse llegado a una solución (faltan por asignar el partido 1 y el árbitro 4), se vuelve a ejecutar el algoritmo, llegando a la solución:

	Árbitro 1	Árbitro 2	Árbitro 3	Árbitro 4
Partido 1	[0,0;0,1]	~~[0,0;0,0]~~	[0,0;0,0]	[0,1;0,2]
Partido 2	~~[0,0;0,0]~~	[0,3;0,9]	[0,1;1,0]	[0,0;0,0]
Partido 3	[0,2;0,3]	[0,0;0,0]	[0,1;0,6]	[0,0;0,2]
Suplente	[0,0;0,0]	[0,0;0,2]	~~[0,0;0,0]~~	[0,0;0,1]

El algoritmo, basado en la minimización de la incertidumbre, encuentra que el partido 1 se asigna al árbitro 3, el partido 2 al árbitro 4, el partido 3 al árbitro 2 y, finalmente, se descarta el árbitro 1 asignándole el puesto de suplente. Para la información que se dispone, ésta es la mejor solución que se encuentra, la que reduce la incertidumbre en mayor grado.
Si aplicamos el método "húngaro" tradicional a los mínimos o a los promedios de los intervalos, la solución será: P1!A3 ; P2!A1 ; P3!A2 ; Suplente!A4. Utilizando los máximos, la solución encontrada es: P1!A4 ; P2!A1 ; P3!A2 ; Suplente!A3. Estas soluciones descartan gran parte de la información suministrada por los expertos y, aunque válidas, no serían las más adecuadas en un entorno de incertidumbre que incluye intervalos de confianza.

6. CONCLUSIONES

El problema de la asignación de árbitros a los partidos de una liga o torneo, ha sido sujeto de controversias a lo largo de la historia. Ni la "dedocracia" ni la aleatoriedad han podido dar con una solución libre de dudas por falta de neutralidad en el proceso.

El conjunto de metodologías que ayudan a resolver este problema ha ido siendo expandido con aportes continuos que han explorado diferentes técnicas matemáticas que, utilizando información subjetiva recolectada de los expertos que conforman los comités de designaciones arbitrales, logran llegar a soluciones balanceadas que satisfacen todos los requisitos impuestos.

Sin embargo, con esta modificación del clásico algoritmo "húngaro" de König creemos hacer un aporte interesante, ya que las dudas que se presenten a la hora de la valuación de las características de árbitros y partidos, podrán ser fácilmente modelables a través de intervalos de confianza. De esta manera, la comodidad del experto podrá llevar a mejores y más fidedignas evaluaciones y a la reducción significativa del riesgo de fraude.

Desde luego, es obvio que esta técnica es extrapolable a otros campos de la organización humana, donde el problema de asignar recursos a tareas lleve consigo un grado de incertidumbre tal, que la utilización de intervalos de confianza sea necesaria.

7. BIBLIOGRAFIA

- Gil Aluja, J.: “La gestión interactiva de los recursos humanos en la incertidumbre”. Ceura, Madrid, 1996.
- Gil Aluja, J.: “Selección de personal: el problema de la polivalencia y el de la uniformidad”. Cuadernos CEURA, 1987.
- Gil Lafuente, J. “El mejor sistema de designación arbitral: el algoritmo húngaro”. Actas del International Congress ACSEG 2002, 167-180, Boulogne-Sur-Mer, Noviembre 2002.
- Gil Lafuente, J. “The best systems for appointing referees”. Sergiy Butenko, Jaime Gil Lafuente and Panos M. Pardalos (ed.), Economics, management and optimization in sports, 101-120. Springer, Berlin, 2004.
- Gil Lafuente, J. “Una herramienta óptima de designación arbitral basada en las lógicas multivalentes”. Actas del XI Congreso Internacional AEDEM, 491-498, Paris, Septiembre 2002.
- Gil Lafuente, J.: “Algoritmos para la excelencia: claves para el éxito en la gestión deportiva”. F.C. Barcelona, Barcelona, 2002.
- Gil Lafuente, J.: “Marketing para el nuevo milenio”. Pirámide, Madrid, 1997.
- Kaufmann, A. y Gil Aluja, J. “Introducción de la teoría de los subconjuntos borrosos a la gestión de las empresas”. Milladoiro, 1986.
- Kaufmann, A. y Gil Aluja, J. “Técnicas operativas de gestión para el tratamiento de la incertidumbre”. Milladoiro, Santiago de Compostela, 1987.
- Kaufmann, A. y Gil Aluja, J. “Técnicas especiales para la gestión de expertos”. Milladoiro, Santiago de Compostela, 1993.
- Kuhn, H. W.: “The hungarian method for the assignment problem”. Naval Research Logistic Quarterly, 2:83-97, 1955.
- Little, J. D. C., Murty, K. G., Sweeney, D. W. y Karel, C.: “An algorithm for the traveling salesman problem”. Operations Research, 11:972-989, 1963.
- Munkres, J.: “Algorithms for the assignment and transportation problems”. Journal of the Society of Industrial and Applied Mathematics, 5(1):32-38, 1957.
- Zadeh, L. A.: “Fuzzy sets”. Information and Control, 8(3):338-353, 1965.
- Zimmermann, H. J.: “Fuzzy Sets”: Theory and its Applications. Springer, 4ta. edición, 2005.