

Tipo de artículo: Artículo Original  
Temática: Aplicaciones Informáticas  
Recibido: 06/05/2015 | Aceptado: 16/12/2015

## **ACI-Polo: Sistema computacional para el análisis de la actividad competitiva individual en juegos de polo acuático**

### ***ACI-Polo: A computer system for analyze individual competitive activity in waterpolo games***

César Soto Valero <sup>1\*</sup>, Irvin Pérez Morales <sup>2</sup>, Mabel González Castellanos <sup>1</sup>, Alexander de la Celda Brovkina <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Inteligencia Artificial, Universidad Central «Marta Abreu» de Las Villas. Carretera a Camajuaní km 5 1/2. CP 54830. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. Correo-e: [mabelc@uclv.edu.cu](mailto:mabelc@uclv.edu.cu)

<sup>2</sup> CIMCNI, Universidad Central «Marta Abreu» de Las Villas. Carretera a Camajuaní km 5 1/2. CP 54830. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. Correo-e: [ipm@uclv.edu.cu](mailto:ipm@uclv.edu.cu)

<sup>3</sup> Universidad de Ciencias de la Cultura Física y el Deporte «Manuel Fajardo». Facultad de Villa Clara. Correo-e: [alexanderc@vcl.uccfd.cu](mailto:alexanderc@vcl.uccfd.cu)

\* Autor para correspondencia: [cesarvalero@uclv.cu](mailto:cesarvalero@uclv.cu)

---

#### **Resumen**

La extracción automática de conocimiento e información estadística útil a partir de secuencias de video en juegos reales de polo acuático resulta ser una tarea compleja y poco estudiada actualmente. Siguiendo las directrices de la Metodología Observacional, el presente trabajo propone el uso del sistema computacional ACI-Polo, desarrollado para facilitar el análisis de la actividad competitiva individual en este deporte. ACI-Polo posibilita, a partir de un esquema estructural de juego definido previamente, la realización de análisis estadísticos detallados del juego, así como la identificación de micro-situaciones de especial interés para técnicos y entrenadores. El desempeño del sistema, así como la utilidad y fiabilidad de la información obtenida ha sido comprobado por varios expertos de polo acuático en juegos reales. En este sentido, la aplicación favorece la fundamentación teórica de tareas complejas como son el análisis táctico del juego y la planificación de estrategias con el fin de perfeccionar el entrenamiento individualizado de los polistas.

**Palabras clave:** polo acuático, estadísticas, metodología observacional, minería de datos, reglas de asociación

#### ***Abstract***

*The automatic extraction of useful knowledge and statistical information from waterpolo video sequences is a complex task currently little studied. Following the guidelines of the Observational Methodology, this paper describes the implementation of ACI-Polo, a computer system for the analysis of individual competitive activity in waterpolo games. The developed application allows, from a structural and previously defined game plan, to conduct detailed statistical analysis of the game and the identification of special micro-situations for coaches and trainers. The performance of the system, as well as the usefulness and reliability of the knowledge generated, has been tested by several experts of waterpolo in real games. Moreover, the application has favored the theoretical interpretation of complex tasks such as tactical game analysis and planning strategies, in order to improve the individualized training of waterpolo players.*

**Keywords:** waterpolo, statistics, observational methodology, data mining, association rules

---

## Introducción

En las últimas décadas ha habido un notable incremento en la aplicación de la Metodología Observacional en el ámbito de las ciencias de la actividad física y del deporte (Anguera, Blanco, Mendo, and Losada, 2015). Su uso en el análisis de la actividad competitiva a partir de secuencias de video constituye una de las principales fuentes de obtención de conocimiento en esta área (Mendo, López, Castellano, Sánchez, and Brincones, 2012).

El polo acuático es un deporte de equipo, sujeto a normas e institucionalizado, que se practica en una superficie limitada de piscina entre dos conjuntos de siete jugadores, los cuales tienen la finalidad de introducir el balón en la portería contraria. En (Lloret, 1995) se propone definir el juego de polo acuático como: «deporte reglamentado de colaboración y oposición, que se comunica estratégicamente a través de la ejecución de acciones de juego en el medio acuático, portadoras de significación práctica, implícita o explícita, y cuya finalidad es la interacción de marca entre los conjuntos integrantes del duelo simétrico».

Haciendo uso de la Metodología Observacional, y dada la gran variedad de situaciones y comportamientos que se producen en cada una de las fases ofensivas y defensivas del polo acuático, si se desea realizar una evaluación de la táctica de un equipo en un entrenamiento o en competición, resulta ser demasiado complejo intentar abordar todas las acciones que se suscitan. De ahí que se hace necesario dividir cada situación de juego en micro-situaciones que mantengan la estructura de la modalidad deportiva en cuestión. Así pues, se estaría frente a diversas unidades diferenciadas que facilitarían en gran medida la cuantificación y valoración de cada actuación, siendo estas las fases de la evaluación táctica deportiva.

El contexto en el que se desarrolla cada micro-situación se denomina marco situacional. En los deportes de equipos, éste está definido como el conjunto de comportamientos motores presentes en la dinámica de juego, determinada por los factores de: simetría de los equipos, organización de los sistemas tácticos de juego y posesión del móvil.

Actualmente existen varias herramientas computacionales que permiten obtener y generar información útil a partir de los datos que se recogen en diversas modalidades deportivas, las cuales en su mayoría siguen marcos situacionales estáticos definidos previamente (Mendo et al., 2014). A continuación relacionamos algunas pertenecientes al ámbito del polo acuático: Polo Análisis v1.0 (Iturriaga, 2007), desarrollado para la realización de una evaluación táctica cuantitativa a partir de variables de juego obtenidas en tiempo real; SportDraw (SportDraw, 2015), es un software pensado para ser usado por entrenadores en la planificación de tácticas y estrategias de juego; Water Polo Playbook (Jes-Soft, 2013) , permite elaborar estrategias a partir de animaciones las cuales pueden ser exportadas a diferentes formatos y compartidas por entrenadores.

Desafortunadamente, ninguna de estas aplicaciones informáticas hace posible el análisis de cada uno de los componentes estructurales de juego por separado. De ahí que muy pocas respondan a cuestiones y objetivos específicos, pues su funcionamiento no alcanza el análisis de las micro-situaciones concretas y dependen en gran medida del criterio y conocimiento del usuario que las utilice. Además, la mayoría son propietarias y es necesario pagar la licencia para su utilización, ya que fueron concebidas con fines comerciales.

El objetivo de este trabajo consiste en el desarrollo de la aplicación informática ACI-Polo la cual, haciendo uso de la Metodología Observacional, tiene como propósito fundamental facilitar la extracción automática de conocimiento a partir de los datos obtenidos durante el análisis de videos de juegos de polo acuático. De esta forma, dicha herramienta posibilita la identificación de micro-situaciones del juego útiles, sobre todo para el entrenamiento individualizado de los polistas (Valdés, Anoceto, Vázquez, Surita, and Brovkina, 2012).

## **Materiales y métodos**

En esta sección se hace referencia a los recursos informáticos que se tuvieron en cuenta para la confección de la aplicación. Se presenta un esquema estructural general para el análisis de juegos de polo acuático. Además, se expone el modelo elaborado para el seguimiento de las acciones de juego a partir del análisis de videos reales. También se muestran las ventajas del uso del sistema propuesto, sobre todo para la obtención de estadísticos descriptivos del juego y reglas de asociación, lo cual facilita la identificación de micro-situaciones de especial interés para técnicos y entrenadores.

## Esquema estructural de juego propuesto

Con el propósito de modelar correctamente el objeto de estudio (las acciones que se suscitan en la piscina durante un juego dado) es imprescindible definir previamente la estructura del juego. La Figura 1 muestra la estructura propuesta, la cual está dividida en seis niveles y define todo lo ocurrido en un partido de polo acuático.

Cada juego se efectúa normalmente en cuatro períodos. Cada uno de estos períodos se divide en ciclos, donde un ciclo empieza y termina con una pausa indicada por el árbitro. Los ciclos están formados por micro-situaciones, y cada micro-situación por fases, las cuales comprenden un conjunto de acciones de juego (que pueden ser de ataque o de defensa).

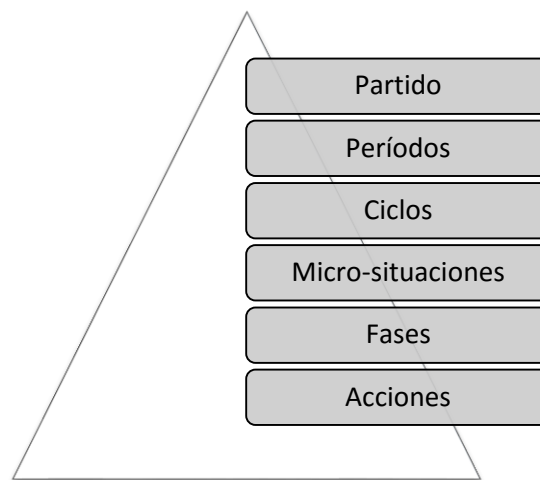


Figura 1. Niveles en que se manifiesta la actividad competitiva en juegos de polo acuático.

En este trabajo se propone clasificar cada micro-situación en seis tipos diferentes de acuerdo a la forma en que comienzan y terminan sus correspondientes acciones de juego, ver Tabla 1. La clasificación de cada micro-situación, en dependencia de sus características, es determinada por el experto según los criterios que se muestran en la columna Estado de dicha tabla. De esta forma, los logros obtenidos al finalizar cada micro-situación se clasifican en: Favorable, Neutro y No-Favorable para las situaciones de gol (G), sin finalización de ataque (SFA) y con finalización de ataque (CFA) respectivamente.

Tabla 1. Clasificación de las micro-situaciones de juego definidas para el polo acuático.

Tipo	Inicio	Final	Logros	Estado
1	Pausas reglamentarias	Pausas reglamentarias	G	Favorable
2	Pausas reglamentarias	Pausas reglamentarias	SFA	Neutro
3	Pausas reglamentarias	Tiro a puerta	CFA	No-Favorable
4	Tiro a Puerta	Pausas reglamentarias	G	Favorable
5	Tiro a Puerta	Pausas reglamentarias	SFA	Neutro
6	Tiro a Puerta	Tiro a puerta	CFA	No-Favorable

El bloque o componente básico de cada micro-situación es la acción individual que realiza el jugador objeto de estudio. De esta forma, es a partir de este componente básico que se desea encontrar relaciones que permitan obtener información útil de lo acontecido en el juego. En este sentido, la información que brinda cada micro-situación es de suma importancia para los entrenadores, ya que posibilita realizar análisis más detallados de las acciones de juego que están relacionadas entre sí, observar detalles técnico-tácticos de juego e identificar talentos individuales (Falk, Lidor, Lander, and Lang, 2004).

### Seguimiento de acciones de juego grabadas en video

Kinovea (Group, 2015) es un reproductor de videos dirigido al área deportiva mediante el cual se puede retardar o adelantar secuencias de video para analizarlas en detalle, estudiarlas y hacer comentarios técnicos sobre los atletas. Es además un sistema libre y de código abierto, por lo que puede ser utilizado y modificado libremente. El trabajo con videos de juegos de polo acuático usando Kinovea permite enfocar la atención en una acción de juego específica y explorar la moción cuadro por cuadro de forma lenta (Ricardo, Alfredo, and Gaetano, 2012). Kinovea es útil además para medir distancia y tiempo manualmente, ya que puede ser empleado en el rastreo de puntos de forma semi-automatizada y en el chequeo de valores activos o trayectorias. Otra ventaja es la posibilidad de enriquecer el video adicionando flechas, descripciones y otros tipos de contenido con el propósito de identificar posiciones de interés. Para los fines de esta investigación, se emplea Kinovea en la determinación de los puntos de inicio ( $P_0$ ) y fin ( $P_1$ ) de cada acción realizada por un jugador de polo acuático, tal como se muestra en la Figura 2.

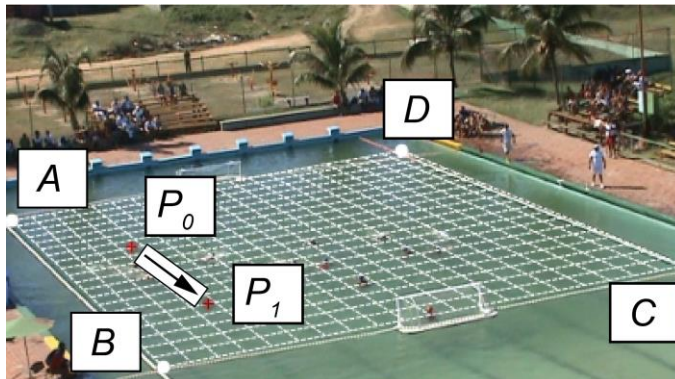


Figura 2. Seguimiento de la trayectoria de un jugador de polo acuático en una piscina usando Kinovea. Dados los puntos inicial y final de la trayectoria, en este caso  $P_0$  y  $P_1$  respectivamente (representados por cruces rojas) ACI-Polo calcula la distancia entre ellos.

De esta forma, el usuario de la aplicación debe identificar previamente en el video cada una de las acciones del juego y guardarlas como imágenes. Kinovea asigna automáticamente el tiempo del video al nombre de la imagen. Pero es preciso además añadir, para cada imagen, el tipo de micro-situación correspondiente a la acción dada. El resultado final es un conjunto de ficheros de imágenes de tipo BMP con la información correspondiente a todas las acciones ocurridas en la secuencia de video que ha sido analizada.

### Cálculo de las distancias recorridas durante las acciones de juego

Resulta sumamente importante, durante el análisis de un juego de polo acuático, calcular la distancia recorrida por determinado jugador en determinado intervalo de tiempo. El sistema ACI-Polo permite obtener la longitud de un segmento de línea recta recorrido por un jugador, dados los puntos inicial y final en una imagen generada previamente con Kinovea. En el caso de que su trayectoria no sea rectilínea, esta se puede aproximar mediante una poligonal, y de esta forma se puede usar la rutina de cálculo de longitudes de segmentos de recta existente en ACI-Polo, para calcular la longitud de una trayectoria que no sea recta. En esta sección se explica el modelo matemático empleado para el cálculo de la longitud de un segmento de recta recorrido por un jugador en una piscina (ver Figura 2).

Para realizar el cálculo mencionado anteriormente, el dato es una imagen en la cual están indicados los puntos  $P_0$  y  $P_1$  inicial y final de la trayectoria respectivamente, cuya separación  $d_0$  es necesario calcular. En dicha imagen también están denotadas las cuatro esquinas de la piscina mediante los puntos  $A$ ,  $B$ ,  $C$  y  $D$  respectivamente (Figura 2). Estos últimos cuatro puntos solo es necesario indicarlos una sola vez para un mismo partido, en el caso en que la cámara de filmación se haya mantenido inmóvil durante todo el partido. Los puntos  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$ ,  $P_0$  y  $P_1$  se denotan por  $A'$ ,  $B'$ ,  $C'$ ,  $D'$ ,  $P_0'$  y  $P_1'$  respectivamente en la vista oblicua, que es la que se obtiene directamente a partir de la imagen (Figura 3 izquierda), y se denotan por  $A''$ ,  $B''$ ,  $C''$ ,  $D''$ ,  $P_0''$  y  $P_1''$  respectivamente en la vista ortogonal (Figura 3 derecha), a

partir de la cual es trivial calcular  $d_0$  porque en este caso  $A''B''C''D''$  es un rectángulo de dimensiones conocidas. Las rectas que pasan por  $P_0$  y son paralelas a dos lados del rectángulo  $ABCD$  se denotan por  $r_1$  y  $r_2$  respectivamente, siendo  $r_1 // AD$ , y en las vistas oblicua y ortogonal se denotan por  $r_1'$  y  $r_2'$ , y  $r_1''$  y  $r_2''$  respectivamente (Figura 3). En la vista ortogonal, conociendo las rectas  $r_1''$  y  $r_2''$ , es posible determinar la posición del punto  $P_0''$ . La posición de  $P_1''$  se puede determinar de forma análoga, y teniendo las posiciones de  $P_0''$  y  $P_1''$  es trivial calcular la distancia entre ellos. Como se tiene que  $AD // BC // r_1$ , se puede asumir que en la vista oblicua las rectas  $A'D'$ ,  $B'C'$  y  $r_1'$ , o bien son paralelas, o bien concurren en un punto. Este hecho, junto con la relación  $P_0' \in r_1'$ , es suficiente para determinar  $r_1'$ , y de forma análoga se puede determinar  $r_2'$ . A partir de estas dos últimas rectas, es posible determinar las razones en las cuales  $r_1''$  y  $r_2''$  dividen a los lados del rectángulo  $A''B''C''D''$ , con lo cual  $r_1''$  y  $r_2''$  también quedan determinadas.

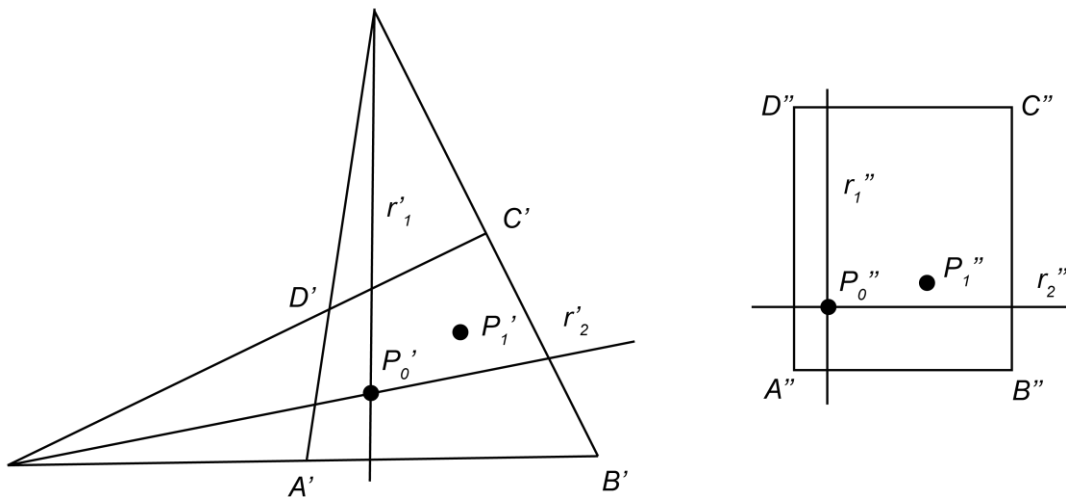


Figura 3. Izquierda (derecha): vista oblicua (ortogonal) del cuadrilátero  $ABCD$ , los puntos  $P_0$  y  $P_1$  y las rectas  $r_1$  y  $r_2$ .

La formulación anterior fue probada con varias imágenes. De forma similar a la Figura 2, dichas imágenes tienen superpuesta una cuadrícula  $20 \times 20$  generada con Kinovea, la cual permite determinar fácilmente la distancia entre puntos situados en la intersección de dos líneas de la cuadrícula. La Tabla 2 muestra los resultados obtenidos con siete imágenes de prueba. En cada una de ellas, se situó un par de puntos de forma tal que cada uno estuviera sobre la intersección de dos líneas de la cuadrícula, por lo cual la distancia entre ellos es conocida. Dicha distancia aparece en la segunda columna de la tabla. En las diferentes imágenes, los pares de puntos están situados en regiones diferentes del área de juego y separados a distancias diferentes. La distancia calculada con ACI-Polo aparece en la tercera columna, y las otras dos columnas a la derecha expresan el error cometido en el cálculo. Los errores arrojados en cada una de las pruebas realizadas fueron poco significativos, por lo que se puede aseverar que el modelo es confiable.



Tabla 2. Validación del cálculo de distancias entre puntos.

Imagen	Distancia exacta (m) medida emíricamente	Distancia calculada por el sistema (m)	Error Absoluto (m)	Error Relativo (%)
1	8.000	7.969	0.031	0.004
2	8.000	8.086	0.086	0.011
3	5.000	4.984	0.016	0.003
4	5.500	5.509	0.009	0.002
5	7.712	7.398	0.315	0.041
6	3.606	3.759	0.153	0.042
7	2.059	1.762	0.297	0.144

### Generación de reglas de asociación a partir de acciones de juego

La aplicación de técnicas de minería de datos ha experimentado un creciente auge en la solución de problemas complejos de los más diversos dominios, especialmente en la obtención de reglas de asociación a partir de grandes volúmenes de datos (Liao, Chu, and Hsiao, 2012). En (Kotsiantis and Kanellopoulos, 2006) se expone que mediante la utilización de algoritmos de asociación es posible realizar la búsqueda automática de reglas que relacionan conjuntos de atributos o variables entre sí. Son algoritmos no supervisados, debido a que no existen relaciones conocidas a priori con las que contrastar la validez de los resultados. La evaluación de las reglas obtenidas consiste en determinar si estas son estadísticamente significativas o no.

En el ámbito deportivo aún no han sido lo suficientemente exploradas las potencialidades de este tipo de técnicas (Haghighat, Rastegari, and Nourafza, 2013), aunque se han dado avances en algunos deportes específicos (Chang-lei, 2010; Huiqun, 2006; Liao, Chen, and Hsu, 2009; McCullagh, 2010; Qiao, Ouyang, and Sun, 2010).

WEKA (acrónimo de *Waikato Environment for Knowledge Analysis*) es una plataforma libre y de código abierto escrita en lenguaje de programación Java. Dicha plataforma contiene una colección de algoritmos para resolver diversas tareas de minería de datos y aprendizaje automático. WEKA cuenta actualmente con seis algoritmos para la generación de reglas de asociación, sin embargo, el algoritmo *Apriori* (Agrawal, Imielinski, & Swami, 1993) ha sido el más ampliamente utilizado en este campo (Witten and Frank, 2011). *Apriori* sigue un proceso de dos etapas, la primera consiste en encontrar aquellos elementos con una alta frecuencia en el conjunto de datos y la segunda genera reglas de asociación fuertes entre estos elementos, para ello busca reglas entre atributos nominales haciendo uso de diversas técnicas de poda.

La aplicación ACI-Polo utiliza la biblioteca Weka en su versión 3.1.7 para la generación de reglas con *Apriori* a partir del esquema estructural de juego propuesto, constituyendo las acciones las instancias del problema. Los rasgos tomados en consideración correspondientes a cada acción son: Período, Ciclo, Fase, Jugadores, Acción, Tiempo,



Distancia, Desempeño y Estado (ver Tabla 3). Se obvian en el análisis los atributos Velocidad e Intensidad porque éstos son calculados a partir de otros atributos (Tiempo y Distancia).

Tabla 3. Descripción de los atributos que intervienen en la generación de reglas de asociación para un juego de polo acuático.

Atributo	Descripción
Período	Tiene un valor nominal dentro del rango [1, 2, 3, 4]. Cada juego está formado normalmente por cuatro periodos de juego.
Ciclo	Este atributo es numérico e indica el ciclo que se está jugando dentro de cada periodo. Se define dentro del rango [1, ..., n].
Fase	Atributo nominal de tipo binario, el cual puede tomar dos valores posibles: [Ataque, Defensa].
Acción	Los valores nominales que corresponden a este atributo son [d, bd, bid, a, bia, ba, b, bmd, bma, bi]. Los significados son los siguientes: defensa (d), bicicleta defensa (bd), bicicleta intensa defensa (bid), ataque (a), bicicleta intensa ataque (bia), bicicleta ataque (ba), bicicleta (b), bicicleta movimiento defensa (bmd), bicicleta movimiento ataque (bma), y bicicleta intensa (bi). De forma general estos atributos pueden clasificarse en estáticos o dinámicos. Un ejemplo de una acción estática es la bicicleta y una acción dinámica es la de defensa.
Jugadores	Es un atributo nominal que representa la cantidad de jugadores de ambos equipos que intervienen en la realización de una acción dada. Todos los valores posibles para este dominio incluyen todas las combinaciones considerando un máximo de seis jugadores y un mínimo de uno.
Distancia	Este atributo se define como un atributo continuo. Se mide en metros (m), y es la distancia que nada el jugador durante la realización de una acción desde que se empieza hasta que se termina.
Tiempo	Este atributo se define como un atributo continuo. El atributo Tiempo representa el tiempo en segundos que dura una acción, ya sea de defensa o de ataque.
Desempeño	El atributo Desempeño toma valores de tipo nominal, los cuales pueden ser: [Alto, Medio, Bajo]. Estos valores son estimados a partir de un conjunto de reglas, las cuales utilizan específicamente la Intensidad (atributo de valores numéricos calculado por el sistema que le indica al experto de polo acuático el esfuerzo con que ha sido desarrollada la acción) para determinar el valor de desempeño que le corresponde. Las reglas son las siguientes: <i>Si Intensidad ≤ 50, Desempeño = Bajo</i> <i>Si 50 &lt; Intensidad ≤ 75, Desempeño = Medio</i> <i>Si Intensidad &gt; 75, Desempeño = Alto</i>
Estado	Atributo nominal que tiene valores del conjunto: [Favorable, No-Favorable, Neutro]. El atributo Estado se refiere al estado de la micro-situación que se define a partir de su tipo, tal como quedó definido en la Tabla 1. Las reglas que lo definen son las siguientes: <i>Si el tipo de micro-situación es 1 o 4, Estado = Favorable</i> <i>Si el tipo de micro-situación es 2 o 5, Estado = Neutro</i> <i>Si el tipo de micro-situación es 3 o 6, Estado = No-Favorable</i>

Una de las dificultades presentes en la aplicación de reglas de asociación es la generación de un elevado número de reglas inútiles, incluso para conjuntos de datos pequeños, debido a que el consecuente puede contener cualquier combinación de pares atributo-valor. Durante la generación eficiente de reglas de asociación se buscan combinaciones de pares atributo-valor con suficiente soporte y reglas con suficiente confianza. El soporte es la probabilidad de que una instancia contenga la relación  $a$  implica  $b$  ( $a \Rightarrow b$ ) y la confianza es la probabilidad condicional (dada en por ciento) de que una regla que contenga  $a$  también contenga a  $b$  (Witten and Frank, 2011).

ACI-Polo utiliza el algoritmo *Apriori* para la generación de un máximo de 100 reglas con un soporte mínimo de 0.1 y un nivel de confianza de 0.9. Dado que dicho algoritmo precisa que los atributos presentes en el conjunto de datos sean nominales, es necesario aplicar previamente a los datos el filtro no supervisado *Discretize* de WEKA, el cual convierte todos los atributos numéricos en atributos nominales.

La evaluación del grado de importancia de una regla de juego generada por el sistema propuesto es llevada a cabo por el usuario de ACI-Polo, atendiendo fundamentalmente a los valores de soporte y confianza de la regla obtenida (Raj and Padma, 2013).

## Resultados y discusión

Como resultado de esta investigación se desarrolló la aplicación ACI-Polo, la cual permite realizar el análisis de la actividad competitiva individual en juegos de polo acuático a partir de secuencias de videos de juegos reales. En esta sección se expone el funcionamiento general de ACI-Polo, ilustrando la forma en que se recoge y almacena la información obtenida del juego utilizando su interfaz gráfica. Además, se realiza la validación del sistema a partir de los resultados obtenidos con un caso de estudio, correspondiente a un partido de la liga nacional cubana llevado a cabo entre los equipos de las provincias de Villa Clara y Camagüey.

### ACI-Polo

El sistema ACI-Polo fue desarrollado completamente en el lenguaje de programación orientado a objetos Java, por lo que es multiplataforma y solo requiere que el Sistema Operativo tenga instalada la Máquina Virtual de Java (JRE, por sus siglas en inglés). En su funcionamiento el sistema hace uso de las siguientes bibliotecas Java de código abierto:

- *itextpdf-5.5.0.jar*, para la generación de los reportes en formato PDF.
- *jfreechart-1.0.17.jar*, se usa para la generación de los gráficos estadísticos.
- *jxl.jar*, biblioteca para el trabajo con tablas Excel en formato XLS.
- *jh.jar*, usado para la confección de la ayuda de la aplicación en formato HTML.
- *weka.jar* versión 3.1.7, sistema desarrollado para la realización de tareas de minería de datos y aprendizaje automatizado, en este caso es usado para la obtención de reglas de asociación.

Cada una de estas bibliotecas es utilizada en los correspondientes paquetes que conforman la aplicación, tal como muestra la Figura 4.

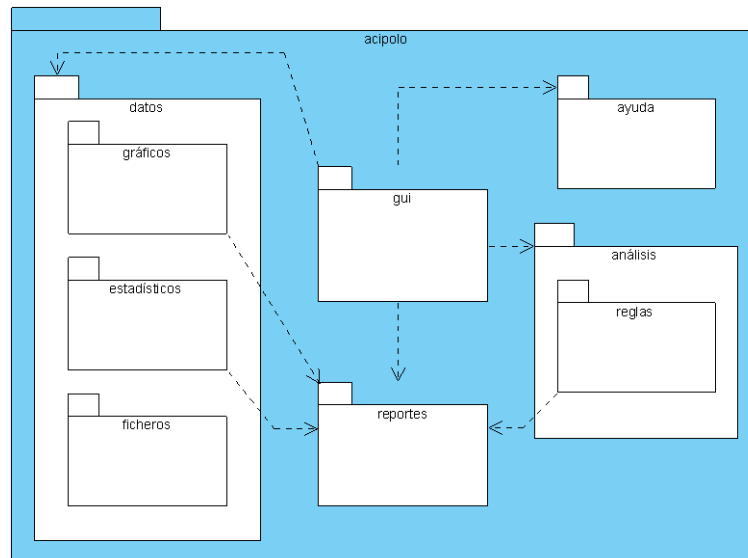


Figura 4. Diagrama de paquetes de la aplicación.

Las principales funcionalidades de la aplicación son las siguientes: creación de un juego a partir del esquema estructural del juego (definido en forma de árbol por el usuario), obtención de datos de juego con estadísticos descriptivos y gráficas a partir de un juego creado previamente, y la generación de reglas de asociación para uno varios juegos seleccionados.

### **Análisis de un caso de estudio**

El juego seleccionado como caso de estudio en esta investigación es un partido de la liga nacional efectuado en el año 2013 entre los equipos de Villa Clara y Camagüey, el cual fue ganado por Villa Clara con resultado de nueve goles a dos. ACI-Polo permite que el usuario almacene las acciones de juego en forma de árbol anidado siguiendo la estructura definida previamente. Dicho árbol se conforma mediante la carga de las imágenes del video del juego guardadas con Kinovea. La aplicación se encarga de realizar los cálculos de las distancias recorridas por el atleta objeto de estudio en cada imagen. Para el usuario es transparente el procesamiento de dichas imágenes, así como la teoría y los algoritmos que se aplican posteriormente en el análisis de las micro-situaciones de juego.

Una vez que el juego ha sido guardado (la extensión es JPA por defecto) usando la serialización de objetos de Java, entonces es posible abrirlo para efectuar su análisis (ver Figura 5), obtener estadísticos descriptivos relacionados con las variables medibles del juego, generar reportes en formato PDF o XLS con los valores de los elementos estructurales y además visualizar gráficamente algunas variables calculadas internamente tales como: distancia total recorrida, promedio de velocidad de ataque o defensa, cantidad de acciones de cada tipo, entre otras.

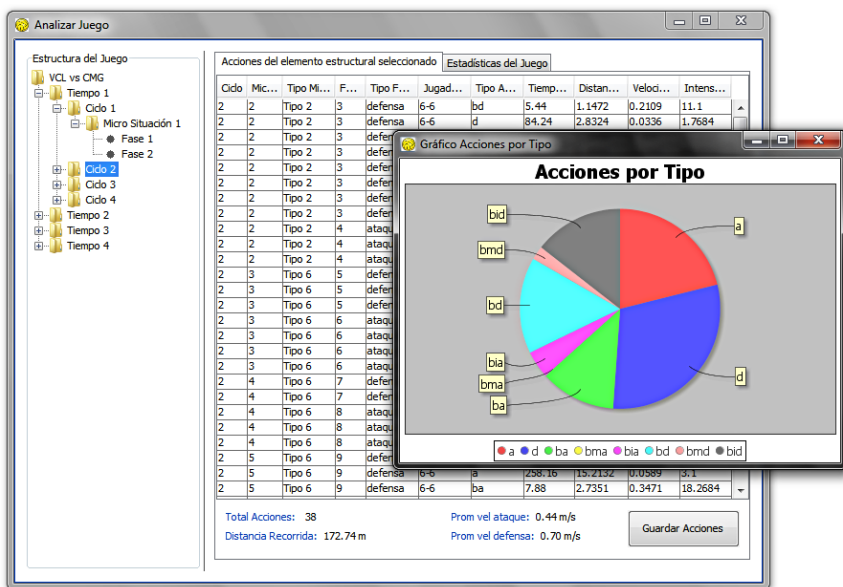


Figura 5. Análisis de cada uno de los aspectos del juego entre los equipos de Villa Clara y Camagüey con ACI-Polo.

Para la obtención de reglas de asociación en este caso de estudio se cuenta con un total de 338 instancias o acciones de juego. La Figura 6 muestra la ventana de generación de reglas de asociación con ACI-Polo.

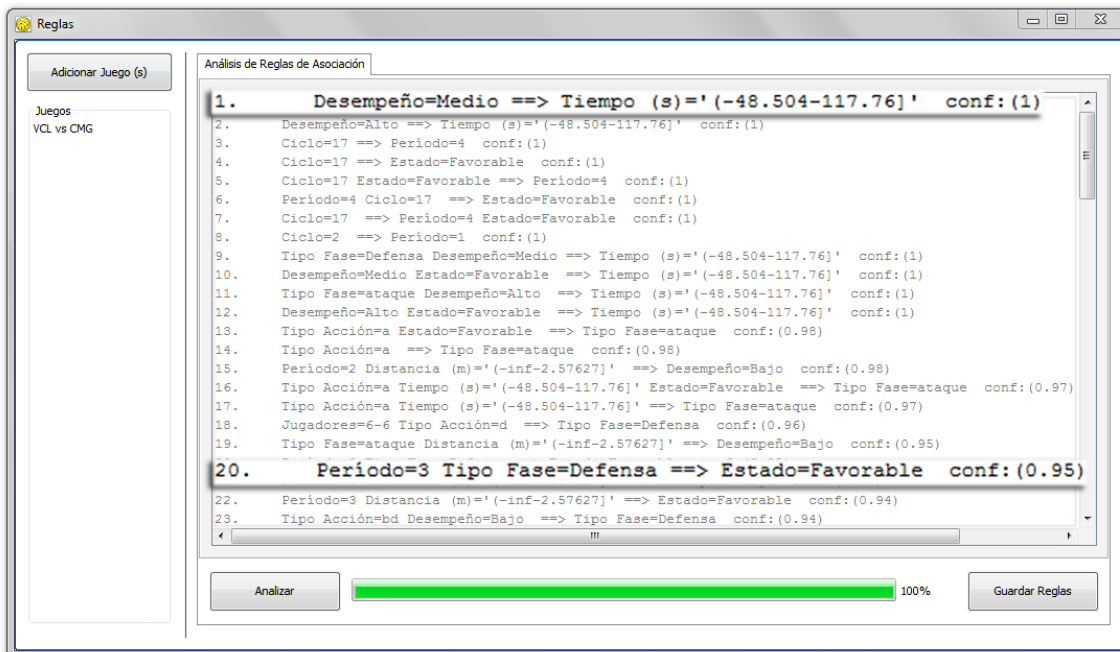


Figura 6. Generación de reglas de asociación para el juego entre los equipos de Villa Clara y Camagüey con ACI-Polo.

La Tabla 4 muestra las categorías definidas por los expertos según el marco situacional dado, así como la distribución de las reglas obtenidas en dichas categorías.

Tabla 4. Categorías de las reglas obtenidas en el juego entre los equipos de Villa Clara y Camagüey con ACI-Polo.

Categoría	Cantidad de Reglas Obtenidas	Porcentaje
Comportamiento de la efectividad del equipo	7	16,3
Regularidades de la carga del ejercicio competitivo	23	53,5
No brinda información significativa	13	30,2

De las dos categorías que brindan información significativa una de ellas se relaciona con el comportamiento del equipo en su conjunto (comportamiento de la efectividad del equipo), y la otra con el comportamiento del jugador individualmente (regularidades de la carga del ejercicio competitivo). Un ejemplo de dos reglas obtenidas para el caso de estudio dado correspondientes a la primera y segunda categoría respectivamente es el siguiente:

$$\text{Si Desempeño} = \text{Medio} \text{ Entonces Tiempo (s)} = '(-48.504, -117.76]' \text{ conf:}(1) \quad (\text{Regla 1})$$

Llevado al lenguaje natural su lectura sería la siguiente: «Toda acción con desempeño medio ( $50 < \text{Intensidad} \leq 75$ ), tiene una duración de entre 48.5 y 117.8 segundos, con una confianza del 100%». Esta regla evidentemente aporta información que es de utilidad para el análisis de lo ocurrido durante la competición, lo cual permite la planificación de estrategias de entrenamiento relacionadas con el aspecto competitivo del juego. Este conocimiento permite a los entrenadores conocer el tiempo que tarda la realización de una acción individual con un desempeño medio. Esta información resulta además especialmente relevante durante la medición y evaluación del desempeño en el ámbito competitivo. Otra regla de interés obtenida es la siguiente:

$$\text{Si Período}=3 \text{ y Tipo de Fase}= \text{Defensa} \text{ Entonces Estado}= \text{Favorable} \text{ conf:}(0.95) \quad (\text{Regla 20})$$

Llevado al lenguaje natural esta segunda regla se lee de la siguiente forma: «Las acciones correspondientes a una fase de defensa en el tercer período corresponden a micro-situaciones cuyo estado es Favorable, con una confianza del 95%». Esta regla permite a los entrenadores evaluar el comportamiento de la efectividad del equipo completo en un período determinado, lo cual permite crear las condiciones que propicien momentos de mayor efectividad durante esta etapa del juego.

## **Consideraciones generales de los expertos**

Durante el desarrollo y utilización de ACI-Polo, la información estadística generada por el sistema en cada etapa fue analizada por expertos que lo pusieron a prueba evaluando su funcionamiento y utilidad. ACI-Polo ha posibilitado la elaboración de propuestas de entrenamientos específicos relacionados con las regularidades de la carga del ejercicio competitivo, fundamentalmente para darle tratamiento a la resistencia y pulir aspectos técnico-tácticos del juego de los polistas villaclareños. En este sentido, por ejemplo, la primera regla obtenida en el caso de estudio visto anteriormente facilitó el análisis del rango de trabajo del atleta para las acciones de intensidad media realizadas en función del tiempo de juego transcurrido.

La aplicación ha permitido además que los entrenadores identifiquen los momentos de juego en los que las acciones llevadas a cabo son más efectivas. Por ejemplo, para el caso de estudio visto anteriormente el sistema identifica correctamente que los valores de velocidad media e intensidad de las acciones del equipo de Camagüey empieza a mostrar una disminución debido al desgaste físico a partir del segundo periodo de juego, impidiéndole mantener el mismo nivel de rendimiento como al inicio del juego. La aplicación tiene posibilidades de utilización además en inteligencia deportiva, en su variante de estudio del contrario, lo cual beneficia y da soporte al entrenamiento táctico y estratégico de los equipos.

El desarrollo modular de la aplicación, así como su conformación siguiendo las directrices de la Programación Orientada a Objetos facilitan su posterior modificación y mantenimiento. En este sentido, a partir de solicitudes de los expertos, se prevé su extensión con el uso de otras técnicas de minería de datos (clasificación, regresión y conglomerados) las cuales pudieran permitir la realización de pronósticos de resultados, así como encontrar patrones de desempeño para diferentes jugadores; todo lo cual arrojaría más luz sobre lo acontecido en el juego.

## **Conclusiones**

En el polo acuático, la especificidad de los comportamientos estratégicos y la sucesión constante de acciones individuales y colectivas imponen grandes retos a la hora de llevar a cabo el registro observacional del juego. Como resultado de este trabajo se desarrolló el sistema ACI-Polo, el cual facilita la extracción automática de conocimiento e información estadística útil a partir de secuencias de videos de juegos reales. El sistema ofrece reportes con estadísticos descriptivos, genera reglas de asociación y describe gráficamente las acciones acontecidas en el juego. Debido a su fácil manejo y la veracidad de la información que ofrece, ACI-Polo ha resultado ser una herramienta útil

para los entrenadores, aplicándose satisfactoriamente en el análisis de la actividad competitiva individual y colectiva, así como en el estudio de contrarios.

## Referencias

- AGRAWAL, R., IMIELINKSI, T., and SWAMI, A. (1993). Mining association rules between sets of items in large databases. ACM SIGMOD Conference on Management of Data, 207-2016.
- ANGUERA, M. T., BLANCO, A., MENDO, A. H., and LOSADA, J. L. L. (2015). Técnicas de análisis en estudios observacionales en ciencias del deporte. Cuadernos de psicología del deporte, 15(1), 30-33.
- BLANCO, Á., CASTELLANO, J., MENDO, A., LÓPEZ, C. R., and USABIAGA, O. (2014). Aplicación de la TG en el deporte para el estudio de la fiabilidad, validez y estimación de la muestra. Revista de psicología del deporte, 23(1), 131-137.
- CHANG-LEI, P. (2010). Appliance of Apriori Algorithm on technical-tactics analysis of football. Computer Knowledge and Technology, 31, 066.
- FALK, B., LIDOR, R., LANDER, Y., and LANG, B. (2004). Talent identification and early development of elite water-polo players: a 2-year follow-up study. Journal of Sports Sciences, 22(4), 347-355.
- GROUP, K. (2015). Kinovea. Disponible en: [<http://www.kinovea.org/>].
- HAGHIGHAT, M., RASTEGARI, H., and NOURAFZA, N. (2013). A Review of Data Mining Techniques for Result Prediction in Sports. Advances in Computer Science: an International Journal, 2(5), 7-12.
- HUIQUN, G. H. Z. (2006). Application of Association Rule Mining in Analyzing Techniques and Tactics of Table Tennis Match [J]. Journal of North China University of Technology Beijing China, 1, 003.
- ITURRIAGA, F. M. A. (2007). Polo análisis v1. 0 Banquillo. Software para la cuantificación de las acciones de los jugadores de waterpolo en tiempo real. Comunicaciones técnicas(3), 5-7.
- JES-SOFT. (2013). Water Polo Playbook. Disponible en: [<http://www.jes-soft.com/waterpolo/>].
- KOTSIANTIS, S., and KANELLOPOULOS, D. (2006). Association rules mining: A recent overview. GESTS International Transactions on Computer Science and Engineering, 32(1), 71-82.
- LIAO, S.-H., CHEN, J.-L., and HSU, T.-Y. (2009). Ontology-based data mining approach implemented for sport marketing. Expert Systems with Applications, 36(8), 11045-11056.
- LIAO, S.-H., CHU, P.-H., and HSIAO, P.-Y. (2012). Data mining techniques and applications—A decade review from 2000 to 2011. Expert Systems with Applications, 39(12), 11303-11311.
- LLORET, M. (1995). Análisis praxiológico del waterpolo. Revista de Entrenamiento Deportivo, 8(2), 28-36.
- MCCULLAGH, J. (2010). Data mining in sport: A neural network approach. International Journal of Sports Science and Engineering, 4(3), 131-138.
- MENDO, A. H., LÓPEZ, J. A. L., CASTELLANO, P. J., et al. (2012). Hoisan 1.2: Programa informático para uso en metodología observacional. Cuadernos de psicología del deporte, 12(1), 55-78.
- QIAO, K., OUYANG, W., and SUN, W. (2010). Practical Study of Association Rules Digging Technique in Physical Fitness Index Analysis [J]. Journal of Tianjin University of Sport, 5, 025.



RAJ, K. A. A. D., and PADMA, P. (2013). Application of Association Rule Mining: A Case Study on Team India. Paper presented at the International Conference on Computer Communication and Informatics, Coimbatore, India.

RICARDO, I., ALFREDO, D., and GAETANO, R. (2012). Pilot work on evaluation of women Water Polo tactics pattern. Ovidius University Annals, Series Physical Education and Sport/Science, Movement and Health, 12(2).

SPORTDRAW. (2015). Sports Draw. Disponible en: [<http://www.sportsdraw.co.uk/>].

VALDÉS, M. A. F., ANOCETO, M. M., VÁZQUEZ, L. Á. G., SURITA, Y. P., and BROVKINA, A. (2012). Sistema de entrenamiento para el desarrollo de la resistencia a los esfuerzos láctidos en jugadoras juveniles cubanas de polo acuático. 15(166). [En línea]. Lecturas: EF y Deportes. Revista Digital [Consultado el: 12 de diciembre de 2014]. Disponible en: [<http://www.efdeportes.com/efd166/esfuerzos-lactidos-en-jugadoras-de-polo-acuatico.htm>].

WITTEN, I. H., and FRANK, E. (2011). Data Mining: Practical machine learning tools and techniques (3ra Edición): Morgan Kaufmann.