

Dr. Salvador Olaso,  
Departamento de Rendimiento Deportivo  
INEFC-Lleida.

Jordi Cebolla,  
Técnico informático  
INEFC-Lleida.

# LA SIMULACIÓN DE SISTEMAS EN LOS LANZAMIENTOS ATLÉTICOS: UNA APLICACIÓN AL LANZAMIENTO DE PESO

## Abstract

**Palabras clave:** simulación, dinámica de sistemas, modelo, métodos de simulación.

*The approach of this present article could be included in systemics as methodology of scientific intervention, using formal means for the knowledge of reality.*

*For some, systemics provides a reliable field for methodological application —understood as scientific method— and for others —the more speculative— tries to find all kinds of similarities between systems, omitting all mathematical formalism and paying more importance to the richness of ordinary language. In both groups, we establish the scientific concept of metaphor.*

*In our case, systemics —their dynamic part— are built up as a tool of analysis and prediction of the behaviour of the system object of the study. In this way we try to propound the bases of a future and more profound simulation of applied system. From this point of view we have based our study. In it, we hope to know the probable length of a shot putt, starting from the application of selected battery of field tests. To help this objective, we have made an informatic program to help the automatic calculation of the various factors and the simulation of the results.*

## Resumen

El enfoque que persigue el presente artículo se inserta en la sistémica como metodología de intervención científica, la cual utiliza medios formales para el conocimiento de la realidad.

Para unos, la sistémica proporciona un campo abonado para la aplicación metodológica —entendida como método científico— y para otros —aquellos más especulativos— pretende encontrar todo tipo de similitud entre sistemas prescindiendo de todo formalismo matemático y dando mayor importancia a la riqueza del lenguaje ordinario.

En ambas se hace patente el concepto científico de metáfora.

En nuestro caso, la sistémica —su parte dinámica— se construye como una herramienta de análisis y predicción del comportamiento del sistema objeto de estudio. De esta manera, intentamos proponer las bases de una futura y más profunda *simulación* de sistemas aplicados.

Desde esta perspectiva hemos ubicado el estudio. En él, se pretende conocer la longitud *probable* de lanzamiento de un lanzador de peso, a partir de la aplicación de una batería selectiva de tests de campo. Para favorecer dicho objeti-

vo, se ha creado un programa informático que facilita el cálculo automático de los diversos factores y la *simulación* de los resultados.

## Introducción

La simulación de sistemas representa en la actualidad una técnica apropiada, con un alto índice de fiabilidad, para comprender las posibilidades evolutivas y dinámicas de un sistema dado.

Todo sistema, como ente complejo que es, su evolución dependerá, en principio, de las posibilidades evolutivas que posean los elementos constituyentes del mismo.

Simular es pues hacer “como si...”, es decir, poder llegar a *predecir*, *prever*, *anticiparse* a las posibilidades dinámicas del sistema. En realidad, la simulación no es más que una ficción de la que aprovechamos su virtualidad y sacamos consecuencias que nos puedan ser útiles en la acción real.

La ciencia de sistemas dinámicos ha ofrecido y ofrece, a partir de la simulación, múltiples conocimientos sobre como va a comportarse un sistema en su evolución temporal. La economía, la meteorología, la tecnología de sistemas y la propia estrategia de la guerra, cuentan en su haber con gran cantidad de simulaciones realizadas en sistemas informáticos, en base a las cuales los expertos deciden las acciones a realizar posteriormente.

En el deporte en general y, en el atletismo en particular, va a adquirir cada día más importancia la simulación de sistemas aplicados, tanto en el terreno del entrenamiento y su organización, como en el establecimiento del modelo ideal de las características físicas y técnicas de las especialidades atléticas.

Poder llegar a observar, a partir de simulaciones dinámicas por ordenador,

las consecuencias de la adaptación del organismo del atleta mediante el estímulo de entrenamiento y sus cambios condicionados por otro tipo de estímulo, es realmente atractivo.

Muy posiblemente, el futuro nos deparará la creación de sistemas, que puedan llegar a predecir las consecuencias de las decisiones que adopte el entrenador en materia de entrenamiento.

Evidentemente, el modelo técnico —cuando la especialidad así lo requiera— se puede beneficiar de la posibilidad de simular el modelo de respuesta competitiva, así como también sus variaciones en tanto en cuanto éstas se produzcan en los elementos que componen el sistema.

En esta línea hemos ubicado nuestro trabajo, en el que nos hemos aproximado a la simulación con la pretensión de conocer la longitud *probable* de lanzamiento de un lanzador de peso, a partir de la tipificación de una batería específica de tests de campo.

Como se trata de averiguar la longitud máxima a la que pueda aspirar un atleta, tendremos que hablar de la longitud con mayor probabilidad de lanzamiento para un determinado atleta, en un momento dado. Esta longitud será el resultado de la simulación de la distancia del lanzamiento con lo que conseguiremos un modelo de respuesta de cara a la competición, en la que se dan, sin duda, las condiciones reales a la que se enfrenta el sistema.

Para este fin, se ha creado un programa informático que facilita el cálculo automático de los mencionados factores.

## A) Fundamentos teóricos

### Modelado de sistemas

La noción de modelo está íntimamente ligada a la razón de representación entre una realidad original y su reproduc-

ción, denominada a partir de entonces, modelo.

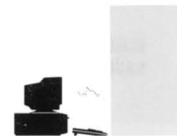
En realidad para simular, previamente hay que modelar el sistema, o sea, identificar los elementos que lo componen así como establecer su estructura interna, la cual no es más que la forma esquemática que presenta la interrelación entre los mencionados elementos. Parece pues evidente, que al hablar de sistemas, el modelo va a resultar una pieza fundamental en la comprensión del mismo, puesto que va a representar su virtual forma de abstracción.

Por lo tanto, todo modelo debe ser construido por el propio investigador, con la intención de transmitir la imagen que él considera verdadera de la composición del sistema. Así, el modelo se constituirá en una representación abstracta de un sistema real o conceptual.

Desde esta perspectiva, se entiende por modelo una representación de un determinado aspecto de la realidad, en un lenguaje específico. El modelo es una representación de algo —material o abstracto, real o normativo—, a lo que está ligado por una relación asimétrica —si  $M$  es un modelo de  $X$ ,  $X$  no tiene por qué serlo de  $M(1)$ .

Con lo cual podemos admitir que la definición más simple de modelo, atendiendo al significado expresado, vendría a ser la siguiente: un objeto  $M$  es un modelo de  $X$ , para un observador  $O$ , si  $O$  puede emplear  $M$  para responder a cuestiones que le interesan acerca de  $X$ . Se dice, también, que el modelo  $M$  es el *representans* o representante mientras que  $X$  es lo representado o *representandum(2)*.

La idea de modelo que prevalece, cuando se hace referencia a la cuestión de representación, es sinónima de boceto, esquema e incluso maqueta, las cuales constituyen ejemplos del uso del significado al que venimos haciendo referencia.



## Diferenciación de modelos

Bertalanffy, como biólogo y primer introductor del concepto en la teoría general de sistemas, considera que construir modelos materiales, presupone la existencia de *modelos teóricos* —construcciones conceptuales. Para él, modelo teórico será pues una construcción conceptual que refleja clara y esquemáticamente ciertos aspectos de un fenómeno natural y que permite hacer deducciones y predicciones comprobables (3). De esto se deduce que la noción de modelo teórico tiene dos sentidos: uno amplio, el cual hace referencia a considerar toda teoría científica como modelo conceptual, y otro más estricto, que trata de ver en el modelo un concepto auxiliar para ilustrar ciertas relaciones y facilitar su manipulación (4). Nagel (5) ahonda más en su composición y aporta dos tipos más de modelos teóricos: *modelos substantivos* que tratan de buscar las relaciones entre las partes o elementos de un sistema conocido, con partes similares de otro que se investiga; y los *modelos formales*, que aún teniendo partes o elementos diferentes, con ellos se intenta buscar semejanzas —leyes— entre las estructuras formales.

En cuanto a las características más importantes de los modelos teóricos Bertalanffy enuncia las siguientes: En primer lugar, el carácter “como-si” del modelo; en segundo, su origen en una creación conceptual libre que no puede derivarse simplemente de los hechos experimentados; por último, su índole no monopolística, que permite el uso de modelos alternativos en las explicaciones científicas (6).

Desde la perspectiva de dinámica de sistemas, la técnica de modelado ha alcanzado una importancia esencial. Y en la actualidad, podemos decir que prácticamente está interpretada, dicha dinámica, por la modelación de sistemas, o sea, en la creación de diagramas

causales o de influencias y diagramas de Forrester, estos últimos expresados en lenguaje *Dynamo*, el cual es un lenguaje de programación para facilitar la aproximación de Euler de un sistema de ecuaciones diferenciales de primer orden.

Los diagramas causales, inspirados en la teoría de grafos, intentan representar el valor de las influencias, desde una perspectiva causa-efecto, de las diferentes variables del sistema. Desde luego, en cierta forma, los diagramas causales no son otra cosa que un bosquejo esquemático de dichas relaciones, manifestando de esta forma la estructura del sistema.

Lo primero a concretar, en el intento de diseño de un diagrama causal, es la elección del tipo de variables que intervienen e influyen en el desarrollo del sistema. En este sentido, se considera oportuno clasificar (7) las variables en dos tipos: variables *endógenas* y variables *exógenas* (8).

Queda evidenciado que uno de los aspectos más interesantes de los diagramas causales es que no contienen información de tipo cuantitativo, más bien podríamos decir, que contienen fundamentalmente información cualitativa de influencia causal, tal y como hemos venido comentando.

Uno de los mayores adelantos en dinámica de sistemas ha sido posiblemente la aportación de Forrester (9), a través de los diagramas que llevan su nombre. Este autor asoció al diagrama de influencias una estructura funcional, asignando a cada uno de los elementos de que se compone el diagrama un tipo de variable concreta y a las que apellidó como: variables de *nivel* o de *estado*, variables de *flujo*, y variables *auxiliares*.

La inspiración del diagrama de Forrester está frecuentemente representada a través de un símil hidrodinámico de un sistema de actuaciones sobre ciertas vál-

vulas que regulan los caudales de alimentación a cada uno de los depósitos. Para ello Forrester incorporó, a cada una de las variables, una imagen representativa de la misma, apareciendo con ello una simbología característica de los modelos de sistemas representados a través de ella.

## Aplicación de la teoría de sistemas al estatuto actual de la teoría del entrenamiento deportivo

Parece ser que en la actualidad el desarrollo de una teoría del entrenamiento deportivo pasa por la adopción de la teoría de sistemas como base conceptual e incluso como nuevo principio. Sobre todo existe una gran convergencia entre las leyes que rigen el entrenamiento, su base de planificación y la concepción sistémica de la organización del entrenamiento.

Para Boiko, el organismo humano y por extensión el del atleta se puede concebir como un *sistema motor funcional*, cuyo objetivo es la producción de un resultado motor específico (10). Parece claro hoy día, que el desarrollo y conservación de dicho sistema no sólo depende de la frecuencia y de la amplitud de la aplicación de los estímulos de entrenamiento, sino que por el contrario, la mayoría de los autores se decantan por una especialización de los contenidos del entrenamiento así como por la construcción de un modelo de entrenamiento extensivo.

Verchosanskij, por su parte, ratifica dichas posturas al indicar la gran importancia, incluso decisiva, que posee el paso hacia la exclusividad de la preparación especial condicional del atleta y también, como no, a la exigencia de la construcción de un modelo de los objetivos del entrenamiento, partiendo analíticamente de los componentes que lo constituyen, así, la construcción del modelo debe de incluir las variaciones que atraviesa la carga a partir de los

parámetros específicos como la fuerza inicial, explosiva, máxima, la resistencia aeróbica, la anaeróbica, la velocidad etc. (11).

Desde esta toma de posición, Tschienne destaca la necesidad de pensar el sistema de entrenamiento bajo la idea de la unión de los elementos que componen el sistema a partir de una acción recíproca inmediata. Por lo que si ejercemos una posible influencia sobre uno de los elementos, dicha influencia también puede ser sufrida por el resto de ellos.

Deja pues claro, que la estructura del sistema está constituida por el tipo y amplitud de las relaciones que existen entre los elementos del mismo. En este sentido esta definición se adapta al denominado *proceso de entrenamiento* y se hace equivalente a *sistema de entrenamiento*.

Como finalidad del sistema destaca la intención de dirigir el proceso pedagógicamente hacia el incremento y desarrollo de la prestación deportiva. Y como contenidos se proponen los siguientes: el planteamiento del sistema de competición y de entrenamiento, de la estructura de entrenamiento y su control en lo que concierne a los procesos parciales de la carga física (condicional), técnica, táctica, psíquica, moral e intelectual (12).

## **B) Parte empírica**

En principio nuestro esfuerzo va a ir encaminado hacia una concepción sistémica, basada en la simulación de los factores identificables que pensamos intervienen en el proceso parcial condicional, relativa a la carga física y su incidencia en la efectividad del lanzamiento, o sea, en el resultado deportivo.

### **Objetivos del trabajo**

- Definir a partir de tests de campo, la capacidad condicional que posee un lanzador de peso para conseguir un rendimiento métrico concreto.
- Comprobar que los parámetros que se utilizan actualmente en el campo para medir la capacidad del lanzamiento, mantienen una relación lineal con los resultados esperados.
- Establecer los principios del modelo y describirlo.
- Preparar el procedimiento para que este modelo sea adaptable a otras especialidades atléticas.
- Creación de un programa informático que reproduzca el modelo para cualquier individuo y calcule la probabilidad que el protagonista consiga realizar una marca concreta.

### **Fases del estudio**

- Definición real del problema.
- Determinar los tests que habitualmente se utilizan en el control de la preparación del atleta, y decidir de entre éstos, cuáles mantienen una relación lineal con el rendimiento final, así como, establecer la magnitud evaluativa que corresponda a cada uno de ellos.
- Realización de los tests a una población controlada para establecer la relación entre los tests de campo y

la distancia lanzada.

- Caracterizar el lanzamiento de un individuo a partir de los tests.
- Creación de un programa informático que calcule automáticamente los mencionados factores y que pueda ser en el futuro extrapolable a otras modalidades atléticas.
- Conclusiones.

### **Definición del problema**

El problema queda definido de la siguiente manera:

- a) Se pretende saber la longitud *más probable* de lanzamiento de un lanzador de peso, a partir de la realización de una batería de tests de campo.
- b) Establecer cada uno de los pasos en que se subdivide el problema y diseñar el diagrama de Forrester que le dé solución.

Dicho problema lo hemos abordado de la siguiente forma:

- En primer lugar, identificando las variables más importantes en el momento del lanzamiento desde una perspectiva puramente dinámica.
- A partir de los valores cinemáticos en los que se inscribe la técnica de lanzamiento, así como de los parámetros aerodinámicos que intervienen en el vuelo del artefacto, observamos que son tres los elementos que condicionan, desde el punto de vista de la física, el lanzamiento del peso, estos son: *el ángulo de salida, la velocidad de salida, y la altura del lanzamiento*.

Queda claro pues, que en el instante en que el atleta deja de tener contacto con el peso han intervenido de manera sistemática los tres aspectos mecánicos descritos, los cuales determinaran unívocamente la ecuación de la trayectoria del vuelo. (Ver figura 1)

Desde el punto de vista de la eficacia, es evidente que el elemento más importante y condicional es, sin duda, la

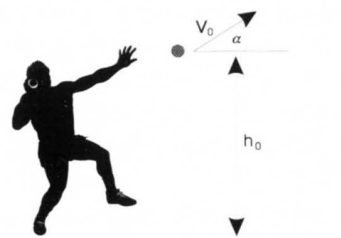


Figura 1



velocidad de salida del peso de la mano del lanzador, por lo tanto nuestro enfoque basará su estructura en este factor.

- Como se trata de averiguar la longitud máxima a la que puede aspirar el atleta, tendremos que hablar de curva de distribución de la probabilidad de lanzamiento para un atleta dado, en un momento dado (sincrónico). Esta curva nos permitirá simular la distancia de un lanzamiento con lo que conseguiremos un modelo de respuesta de cara a la competición la cual es, sin ninguna duda, el test por excelencia.

#### ***Determinación de los tests y establecimiento de la magnitud correspondiente***

En diciembre de 1993, con ocasión del quinto curso de formación de entrenadores de atletismo, patrocinado por la Junta de Castilla-León, Bosniak propuso unas pruebas de control de las estructuras del rendimiento para atletas lanzadores tanto masculinos como femeninos, agrupándose bajo un modelo ideal de las características físicas y técnicas de los lanzamientos (13).

En el modelo se diseñan una serie de tests para cada modalidad, con la finalidad de facilitar la dirección del entrenamiento por parte del entrenador, al tener la posibilidad éste de utilizar una tabla de referencia con la que comparar los resultados del atleta propio, con los resultados aconsejados para la alta competición.

Se expone el caso del control técnico con un lanzamiento completo con 6 K, en el que el atleta lanza 21.30 m, y también dos ejercicios de control de la condición física como son el pectoral en el que se realizan 240 kg de levantamiento y el squat por delante en el que se consiguen 230, que siendo resultados bastante altos deben de proporcionar una distancia —según

la tabla— de 22.50. Por lo tanto se observa un desfase de calidad entre el lanzamiento real y las posibilidades teóricas del modelo expresado en la tabla de referencia.

Con ello concluye que dicho desfase, es ocasionado posiblemente, por una insuficiente capacidad de velocidad-fuerza por parte del atleta, es decir, el índice de fuerza resulta ser muy elevado y esta cualidad puede llegar a restar las posibilidades de imprimir velocidad al artefacto, al no poseer el atleta el suficiente nivel explosivo para conseguirlo.

En el caso especial de los lanzadores/as de peso, Bosniak (14) propone los siguientes índices de control:

- Antropométricos
  - Talla
  - Peso
  - Envergadura
- Condición física
  - Lanzamiento de peso adelante (7.260 kg y 4 kg)
  - Lanzamiento del peso atrás (7.260 kg y 4 kg)
  - Salto de longitud a pies juntos
  - Triple parado
  - 30m (salida lanzada)
  - Pectoral
  - Squat por delante
  - Envión
  - Salto vertical
- Técnica
  - Lanzamiento completo control para juniors (5 kg y 3 kg)
  - Lanzamiento completo (6 kg)
  - Lanzamiento parado (7.260 kg y 4 kg)

Tomando como hilo conductor estas premisas anteriores, hemos elaborado una batería de tests, que en nuestra opinión es representativa de los índices que hemos considerado más relevantes

para nuestro estudio, éstos han sido los siguientes:

- Salto vertical
- Triple salto de parado
- Press banca
- Lanzamiento del peso atrás (7.260)
- Squat por detrás
- Lanzamiento completo (7.260)
- Salto horizontal pies juntos

#### **Salto vertical**

Detente, también denominado de Abalakov, cuyo interés radica fundamentalmente en el índice de fuerza en su manifestación elástico-explosiva del tren inferior (capacidad contráctil + sincronización + reclutamiento + elasticidad).

Realizado a partir de una plataforma de contactos tipo Bosco-Vittori, en la que adquiere la forma del test denominado *Counter Movement Jump* (CMJ), en nuestro caso sin sobrecarga.

La valoración de la magnitud se hace a partir de centímetros.

#### **Press banca**

Ejercicio básico para los lanzadores de peso —trabajo del pectoral—, por el alto índice de correlación que mantiene con la capacidad de fuerza del tren superior en su vertiente de flexo-extensión de los brazos, gesto especial de la fase final de liberación del artefacto.

Se realiza en la sala de musculación con barra de 10 kg y discos de 2 a 15 kg. La valoración de la magnitud se hace a partir de kilos.

#### **½ Squat**

Ejercicio muy común en la mayoría de las especialidades atléticas, ya que todas ellas basan la calidad de los impul-

	CMJ	PRESS	SQUAT	SPJ	TP	LA	LC
A1	54.71	74	100	232	682	670	722
A2	56.20	76	136	255	715	805	730
A3	51.96	60	116	263	820	811	791
A4	45.47	74	116	240	723	732	765
A5	61.46	124	180	285	810	1400	1360
A6	52.93	75	180	255	737	940	854
A7	57.70	55	135	290	858	840	850
A8		64	80	227	706	626	682

Tabla 1

sos a partir de una previa flexo-extensión del tren inferior. Los grupos musculares de las piernas representan las contracciones más fuertes puesto que sus masas son las más grandes del organismo. La inclusión de la variante de la presa por detrás, solo obedece a requerimientos de una mayor estabilidad para los individuos testados. Test muy apropiado para valorar la fuerza máxima dinámica.

Se realiza en la sala de musculación con barra de 10 kg y discos de 2 a 15 kg.

La valoración de la magnitud se hace a partir de kilos.

#### **Salto horizontal pies juntos**

Es un ejercicio emblemático de la valoración de la fuerza explosiva del tren inferior, además de incidir de manera clara en los aspectos coordinativos esenciales para la buena ejecución técnica del lanzamiento del peso.

Se realiza en el foso de saltos.

La valoración de la magnitud se hace a partir de centímetros.

#### **Triple salto de parado**

La mayor virtud del triple salto es la posibilidad de valorar la capacidad de

fuerza elástico-explosiva que mantiene el tren inferior del atleta.

Se realiza en el foso de saltos.

La valoración de la magnitud se hace a partir de centímetros.

#### **Lanzamiento del peso atrás**

Este ejercicio colabora de manera decisiva al principio mecánico de coordinación de implusos parciales, aspecto tan importante en la correcta ejecución técnica del lanzamiento del peso.

Se realiza en el círculo de lanzamiento con el peso oficial senior de 7.260 kg.

La valoración de la magnitud se hace a partir de centímetros.

#### **Lanzamiento completo**

Test real de eficacia en el rendimiento del lanzamiento.

Se realiza en el círculo de lanzamiento con el peso oficial senior de 7.260 kg.

La valoración de la magnitud se hace a partir de centímetros.

#### **Realización de los tests a una población controlada**

La batería de tests ha sido pasada a 8 alumnos de sexo masculino de 4º y 5º curso de carrera—especialidad en atle-

tismo—de Licenciatura en Ciencias de la Educación Física y el Deporte, en el INEFC centro de Lleida.

Los resultados han sido los que aparecen en la tabla 1.

#### **Caracterización de los lanzamientos a partir de los tests**

Resulta muy aventurado pretender hacer una simulación en el ámbito del gesto deportivo... quizás excesivamente aventurado intentar la realización práctica de un modelo electrónico...

A pesar de esto, de una forma u otra, hacen falta modelos de referencia como los de este caso donde se incorpora un modelo informático que puede generar propuestas a partir de una serie de datos introducidos en el sistema.

Estas propuestas van dirigidas a comparar los resultados finales previstos en un lanzamiento de peso a partir de: *por un lado*: un colectivo de individuos que se han considerado como homogéneo (considerando que homogéneo es un adjetivo que no aporta gran resolución en la precisión de la muestra).

*por otro lado*: unos tests ejecutados por el lanzador.

El programa incorpora un modelo que se puede modificar de forma dinámica (es decir, a medida que incorporamos los resultados de los tests de otros sujetos, estamos variando el comportamiento del modelo).

Para poder aproximarnos a un "modelo" se han estudiado algunas técnicas de modelización las cuales han aportado puntos de vista interesantes para esta y otras situaciones del mundo de la actividad física y el deporte. Las técnicas utilizadas han sido las siguientes:

*Simulación de sistemas dinámicos* desde el punto de vista más clásico,



descrito por Aracil (15), con la creación de los diagramas de Forrester que nos permiten describir los problemas a partir de los flujos materiales o de información que intervienen en los diferentes puntos del sistema. Este método proporciona muy buenos resultados para una visión del problema mucho más compleja de lo que en un principio se pretendió debido a que este método es muy sensible a variaciones de tipo temporal y a realimentaciones constantes de flujos.

*Estructuras matemáticas de máquinas de estados (lenguajes, gramáticas o modelos abstractos de cálculo):* Este método es el que utiliza P. Parlebas en "Modelitzation du jeu sportif: le système des scores du volleyball" (Recueil d'articles publiés dans Mathematiques et sciences Humaines 1972-1986 du centre d'analyse et de mathematiques sociales). Este método se ajusta a todo tipo de funciones matemáticas y a algoritmos ya que cualquier algoritmo o función matemática tiene una máquina de Turing que resuelve dicho algoritmo o función. (Felipe Cuker, "Lenguajes, gramáticas y autómatas" UPB 1992). Este método ayudó en un principio a "ver" como debía desenvolverse el problema, y sentó las pautas de solución que se han utilizado.

*Lógica difusa (fuzzy) y redes neuronales:* Estos métodos se utilizan principalmente en dos ámbitos del cálculo: el primero permite que sistemas informáticos sean susceptibles de interpretar valoraciones algo subjetivas (un poco menos, más arriba, no tan a la derecha....). El segundo, en cambio, se utiliza como sistema sensible a unas normas que se puedan "aprender".

Estos dos sistemas parecen pensados para solucionar problemas donde entre en juego la estrategia.

Figura 2

Una vez experimentadas estas técnicas de simulación, el trabajo nos condujo hacia un modelo estadístico conocido y bien experimentado, como es el de la regresión múltiple.

Este modelo estadístico calcula cual es la recta de regresión en un espacio n-dimensional (n-1 variables independientes sobre 1 que depende de las demás) y evalúa los valores que puede tomar la recta, para unas coordenadas concretas (o para cualquier figura n-dimensional en este espacio).

La evaluación, en un punto del espacio n-dimensional en concreto, permite especular sobre como será el valor que podría tomar (con más probabilidad) la variable dependiente...., pero en el caso de las hiper-figuras en el espacio, se puede evaluar el valor para una cierta población, o bien, para un determinado comporta-

miento manifestado con algunas variables simultáneamente.

La proximidad entre las variables también se puede representar mediante el cálculo estadístico de las proximidades entre el comportamiento de las variables tomadas dos a dos.

El programa informático sigue el proceso descrito en el parágrafo expuesto anteriormente sobre las variables Salto Vertical, Salto Triple, Press Banca, Lanzamiento Cabeza, Squat por detrás, Salto horizontal pies juntos (ver figura 2).

Por tanto, en primera instancia podemos calcular las proximidades del comportamiento entre las variables de los tests (CMJ; PRESS; SQUAT; SPJ; TP; LA) y la variable que queremos aproximar a las otras (longitud del lanzamiento del peso= Distancia) mediante el cálculo de la mediana, la desviación típica y la recta de regresión (la cual veremos por panta-

Estadísticas				
VARIABLE:	núm.	media	desv.tip.	recta de regresión
Salto Vertical:	9	2.54	0.04	
Salto TRIPLE:	9	7.60	0.33	$y = 1.70x - 6.11$
Press Banca:	11	50.85	46.64	$y = 0.20x + 45.59$
Lanzamiento CABEZA:	9	8.67	4.71	$y = 0.86x + 0.37$
Squat por detrás:	1	125.00	0.00	
Salto horizontal pies juntos:	11	10.18	18.51	

Ok

Figura 3

lla si es estadísticamente significativa) (ver figura 3).

Hace falta, no obstante, introducir en un fichero los valores de las medidas tomadas en una determinada población (queda claro que en cada fichero hay que poner medidas tomadas en un colectivo que a partir de determinados criterios se consideren homogéneos: una cierta categoría, los lanzamientos de un sólo individuo, los tests en población de élite, etc.).

Una vez se dispone de las medidas introducidas en el ordenador, se puede empezar a calcular algunas medidas para un atleta en concreto, o bien, intentar observar como se modifica el sistema cuando se varía un parámetro. Para realizar estos experimentos, tiene que haber sido introducido en el listado de variables, todos los valores menos la distancia lanzada. Entonces tendremos una aproximación a la distancia que puede lanzar un individuo que haya realizado unos valores de los tests y que se contengan en las variables. Hemos creído conveniente poder evaluar todas las variables una a una porque de esta manera todo atleta puede marcarse unos objetivos y buscar cual es la variable que con

menor esfuerzo se puede conseguir un aumento más significativo del rendimiento final, o sea, de la distancia posible de lanzamiento.

## Conclusiones

La dinámica de sistemas se nos presenta como una nueva orientación para hacer evidente la equivalencia entre proceso de entrenamiento y sistema de entrenamiento como principio, a partir del cual poder avanzar en la comprensión de los factores que inciden en la consecución de los objetivos.

Parece ser, que hoy existe una tendencia muy marcada hacia la introducción de la teoría de sistemas como nuevo paradigma en varias áreas del conocimiento, cuya pretensión no es otra que la de establecer las leyes que rigen las relaciones entre los elementos en interacción en sistemas con múltiples variables y de gran complejidad.

En nuestra opinión este paradigma es perfectamente aplicable a la comprensión del denominado *sistema de entrenamiento*. Nuestra aportación intenta resolver una pequeña incógnita del proble-

ma, simulando las posibilidades de distancia alcanzada en función de las variables mediáticas.

Somos conscientes que la magnitud del problema es enorme, pero al mismo tiempo estimulante, y que con el simple hecho de formular el planteamiento avanzamos hacia nuevas perspectivas de futuro.

El programa elaborado puede ofrecer aplicaciones útiles a los entrenadores, aunque es evidentemente perfectible y por supuesto queda pendiente la posibilidad de verificación práctica que en consecuencia habrá que establecer.

La incorporación de esta experiencia a otros deportes es pues clara, sobre todo desde el punto de vista de la extrapolación del mismo método estadístico a otras especialidades atléticas e incluso a otros deportes individuales.

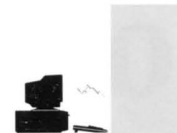
Pensamos que el trabajo realizado previamente hasta llegar a este tipo de simulador nos ha llevado a sentar las bases de otros sistemas más complejos (proceso de entrenamiento, aplicación a la táctica de los juegos y deportes colectivos, etc.) y posiblemente a aplicar en el futuro técnicas utilizadas en otros campos de la ciencia que raramente se han introducido como materia en las denominadas *ciencias del deporte*: hacemos referencia concreta a la inteligencia artificial y a la lógica difusa.

Por eso intuimos que la modelación de sistemas puede convertirse en una herramienta interesante para prever el comportamiento del resultado deportivo y asesorar sobre las medidas que se deben de adoptar para modificarlo, siempre por supuesto, al mismo nivel que los otros saberes especulativos de este estilo.

## Notas

1. ARACIL, J: *Máquinas, sistemas y modelos*. Madrid, Tecnos, 1986, p. 123.





2. ARACIL, J: *Máquinas, sistemas y modelos*. Cit., p. 123.
3. BERTALANFFY, L.W: *Perspectivas en la teoría general de sistemas*. Madrid, Alianza, 1981, p. 95.
4. BERTALANFFY, L.V: *Perspectivas en la teoría general de sistemas*. Cit., p. 95.
5. Citado por Bertalanffy en *Perspectivas en la teoría general de sistemas*. Cit., p. 95
6. *Perspectivas en la teoría general de sistemas*. Cit., p. 96.
7. ARACIL, J: *Introducción a la dinámica de sistemas*. Madrid, Alianza Universidad Textos, 1986, p. 45.
8. En este aspecto, hay que hacer referencia al hecho de que en la formulación del sistema, la concreción de los elementos endógenos sea una consecuencia de la delimitación de los elementos esenciales que consideramos en el propio sistema.
9. Estos diagramas están formulados en lenguaje concreto de programación, llamado *dynamo*, por lo que en ocasiones también se suelen denominar a estos diagramas como diagramas *dynamo*. Ver las obras siguientes: FORRESTER, J.W: *Principles of Systems*. Wrigt-Allen Press, 1968; FORRESTER, J.W: *Urban Dynamics*. M.I.T Press, 1969; FORRESTER, J.W: *World Dynamics*. Wrigt-Allen Press, 1971; FORRESTER, J.W. / MASS, N.J. / RYAN, C.J: "The System Dynamics National Model; understanding Social-Economic behaviour and policy alternatives", Memorandum D-2248-1, System Dynamics Group, M.I.T, 1975.

10. BOIKO, V: "Lo sviluppo finalizzato della capacità motoria dell'atleta". Moscú, 1987. Traducción rusa citada por TCHIENE, P: "Lo statuto attuale della teoria dell'allenamento". *Rivista di Cultura Sportiva/SDS*, nº 9, Septiembre 1990, p. 43.
11. VERCHOSANSKIJ, J: *Programmazione de organizzazione del processo di allenamento*. Citado por TCHIENE, P: "Lo statuto attuale della teoria dell'allenamento". *Rivista di Cultura Sportiva/SDS*, nº 9, Septiembre 1990, p.43.
12. TCHIENE, P: "El sistema de entrenamiento". *RSD*, V.1, nº 4-5, 1987, p.3
13. BOSNIAK, V: "Lanzamientos". *Tecnica Atlético, Atletismo Español*. Abril, 1995, pp. 38-43.
14. BOSNIAK, V: "Lanzamientos". Cit. p.38.
15. Siguiendo la argumentación sobre dinámica de sistemas expresada por ARACIL, J: *Introducción a la dinámica de sistemas*. Madrid, Alianza Universidad Textos, 1986.

## **Bibliografía**

- ARACIL, J: *Introducción a la dinámica de sistemas*. Madrid, Alianza Universidad Textos, 1986.
- ARACIL, J: *Máquinas, sistemas y modelos*. Madrid, Tecnos, 1986.
- BERTALANFFY, L.V: *Perspectivas en la teoría general de sistemas*. Madrid, Alianza, 1981.

- BOIKO, V: "Lo sviluppo finalizzato della capacità motoria dell'atleta". Moscú, 1987. Traducción rusa citada por Tschiene, P: "Lo statuto attuale della teoria dell'allenamento". *Rivista di Cultura Sportiva/SDS*, nº 9, Septiembre 1990.
- BOSNIAK, V: "Lanzamientos". *Tecnica Atlético, Atletismo Español*. Abril, 1995, pp. 38-43.
- CUCKER, F.: *Lenguajes, gramáticas y autómatas*. Barcelona, UPB 1992.
- FORRESTER, J.W. / MASS, N.J. / RYAN, C.J: "The System Dynamics National Model; understanding Social-Economic behaviour and policy alternatives". Memorandum D-2248-1, System Dynamics Group, M.I.T, 1975.
- FORRESTER, J.W: *Principles of Systems*. Wrigt-Allen Press, 1968.
- FORRESTER, J.W: *Urban Dynamics*. M.I.T Press, 1969.
- FORRESTER, J.W: *World Dynamics*. Wrigt-Allen Press, 1971.
- TSCIENE, P: "El sistema de entrenamiento". *RSD*, V.1, nº 4-5, 1987.
- VERCHOSANSKIJ, J: *Programmazione de organizzazione del processo di allenamento*. Citado por Tschiene, P: "Lo statuto attuale della teoria dell'allenamento". *Rivista di Cultura Sportiva /SDS*, nº 9, Septiembre 1990.