MODELADO DE SITUACIONES DE CONFLICTO BÉLICO MEDIANTE LA APLICACIÓN MATEMÁTICA DE LA TEORÍA DE JUEGOS

Yago FERNÁNDEZ NOVO

Xavier NÚÑEZ NIETO
Doctor ingeniero industrial

Introducción

YA desde la antigüedad, la estrategia militar siempre ha estado ligada a la aparición de nuevos juegos de entretenimiento. Citar como ejemplo el origen del ajedrez a partir de la colección de los cuentos populares *Mabinogion,* de origen galés, o el Kriegspiel, un juego originado en la Prusia del siglo XVIII y que servía como medio de enseñanza a los futuros oficiales del ejército para asimilar los conceptos de la táctica militar (Poundstone, 2006). Ambos ejemplos no distan mucho de ser situaciones de elección estratégicas, en donde los jugadores escogen la acción para obtener un fin determinado, que en el caso de ambos juegos no es más que ganar la partida. La Teoría de Juegos estudia estos conflictos entre seres racionales y establece modelos matemáticos que permiten predecir cómo estos conflictos pueden ser resueltos. El objetivo del presente artículo es introducir los conceptos básicos para la resolución de esas situaciones de conflictos, así como presentar diferentes ejemplos de la aplicación de la Teoría de Juegos al campo militar.

El nacimiento de esta disciplina se produce a comienzos del siglo XX. Durante sus primeras décadas, autores como Zermelo o Borel estudiaron los procesos de toma de decisiones en el póquer (Poundstone, 2006) (Pérez, Limeno y Cerdá, 2004). No obstante, no sería hasta el año 1944 cuando se establezcan las bases y axiomas de la Teoría por parte del matemático Von Neumann y del economista Mongersern en el libro titulado *Game Theory and Economic Behaviour* (Sánchez-Cuenca, 2004) (Pérez, Limeno y Cerdá, 2004)

(Neumann y Morgenstern, 1953). A partir de ahí, esta disciplina continúa evolucionando gracias a las aportaciones de grandes genios, como John Nash, Selten o Harsanyi, entre otros, todos ellos ganadores del Premio Nobel (Pérez, Limeno y Cerdá, 2004).

La estrategia militar siempre ha sido un ámbito de estudio dentro de los trabajos publicados sobre la Teoría de Juegos. Ya en el año 1951, el coronel de las Fuerzas Aéreas de los Estados Unidos (USAF) Oliver G. Haywood Jr. realizó un memorando donde estudiaba cómo aplicar los juegos presentados por Von Neumann a la doctrina de decisión militar de las Fuerzas Armadas de Estados Unidos (Haywood, *Military Decision and Game Theory*, 1954). Sus conclusiones fueron de aplicación inmediata para la mejora de los procesos de toma de decisión y mostraron el gran potencial de esta disciplina para modelar o analizar una determinada batalla. Durante la Guerra Fría y hasta la actualidad, la Teoría de Juegos ha sido empleada en multitud de situaciones, entre las que destacan el modelado de la carrera armamentística nuclear entre la URSS y los Estados Unidos, la crisis de los misiles de Cuba o la doctrina de defensa nuclear *La Destrucción Mutua Asegurada* (Fernández Novo, 2017).

Conceptos básicos

Como bien se ha introducido en la definición de situación estratégica, la racionalidad es una condición necesaria para poder modelar situaciones mediante la Teoría de Juegos. Definir lo que es un agente racional es un ejercicio difícil, ya que este cambia conforme a la situación a la que se aplique. Se puede explicar de forma genérica como las preferencias de los agentes respecto a cómo les gustaría que fuese el mundo. El sujeto elegirá de forma racional si escoge sus estrategias en función de sus preferencias (Sánchez-Cuenca, 2004).

Este orden de preferencias se tendrá que ver reflejado de una forma matemática para poder tomar una decisión sin tener que encontrarse el agente en un nivel demasiado abstracto. Para ello, se asigna un valor numérico a esa relación de preferencias. Esto se realiza mediante las llamadas *funciones de utilidad*. Una de las más utilizadas es el método de Von Neumann-Morgenstern (Neumann y Morgenstern, 1953), que consiste en aplicar una distribución de probabilidad a las consecuencias intermedias entre la mejor preferencia y la peor. Con ello se busca encontrar el punto de equilibrio donde un agente no tenga preferencias entre jugar una determinada lotería o escoger entre el valor esperado de esta. En función de esa elección de los agentes, se pueden clasificar en (Pérez, Limeno y Cerdá, 2004):

— Agente neutral: es indiferente entre jugar a la lotería y obtener el valor esperado de la misma.

— Agente propenso al riesgo: prefiere jugar a la lotería a obtener el valor esperado de la misma.
— Agente adverso al riesgo: prefiere el valor esperado de la lotería a jugarla.

A continuación, se van a introducir dos conceptos esenciales para entender de forma simple la resolución de un determinado juego. Estos son los diferentes tipos de representación de los juegos no-cooperativos.

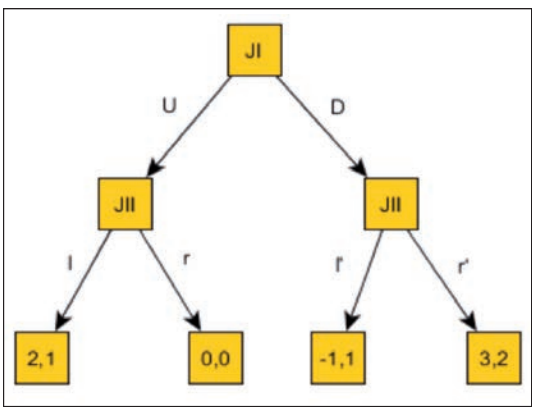
El primer tipo de representación se denomina *juegos en forma normal* o estratégica y representa una situación de elección entre dos o más jugadores, los cuales no pueden llegar a un acuerdo para tomar su decisión y en la que esta se realiza en el mismo instante de tiempo.

La representación de los juegos en forma normal se hace con una matriz de dimensión *n* de *n* vectores. Un ejemplo podría ser el siguiente, que consiste en emparejar monedas y donde cada jugador tiene dos estrategias: cara y cruz (Owen, 2013).

	Jugador 2		
Jugador 1		Cara	Cruz
	Cara	-1,1	1,-1
	Cruz	1,-1	-1,1

Los números que aparecen en cada una de las celdas son los pagos de los jugadores, que son medidos en la función de utilidad de Von Neumann-Morgestern. Las estrategias del jugador 1 se muestran en las filas de la matriz y las del jugador 2 en las columnas. El primer elemento de cada celda se corresponde con la función de pago para esa estrategia del jugador 1, y el segundo, con la del jugador 2.

El segundo tipo se denomina *forma extensiva*. En ella los juegos son representados en forma de árbol, conectados entre sí por líneas llamadas arcos o ramas (Owen, 2013). Lo esencial de esta representación es que se vea reflejada la secuencia de jugadas, las estrategias de los agentes, la información que tiene cada uno



Ejemplo de juego en forma extensiva.

en un determinado instante y los pagos que reciben los jugadores para cada combinación de estrategia (Sánchez-Cuenca, 2004).

En este tipo, los agentes no realizan sus elecciones en el mismo instante de tiempo, sino que la elección de las jugadas es secuencial, escogiendo cada jugador en función de las jugadas escogidas por su rival previamente. Véase un ejemplo de cómo se representan este tipo de juegos en la página anterior: se observa que el jugador 1 tiene dos estrategias posibles, *U* y *D*. Después de la elección de jugador 1, en función de si ha escogido *U* o *D*, el jugador 2 puede elegir entre sus estrategias l, *r* si el jugador 1 ha escogido *U* o entre *r'* y *l'* si ha escogido *D*. Por último, aparecen los pagos de los jugadores. La primera cifra corresponde al del jugador 1 y la segunda al del jugador 2.

Juegos de suma cero y su aplicación al mundo militar

Uno de los conjuntos de juegos que más aplicación ha tenido en el ámbito de la estrategia militar es el de los juegos de suma cero. En ellos se modelan situaciones de conflicto puro entre dos jugadores, donde todo lo que gana un agente son las pérdidas de sus rivales (Pérez, Limeno y Cerdá, 2004). La consecuencia de esto es que el jugador victorioso no tiene razón de intentar negociar o cooperar con el vencido.

Un ejemplo de aplicación militar de estos juegos la expuso el coronel de la USAF Haywood en su artículo *Military Decision and Game Theory* en 1954. En él se hace un análisis de los acontecimientos acaecidos durante la batalla del mar de Bismarck en el año 1943 entre las fuerzas norteamericanas y japonesas en la batalla del Pacífico. Los estadounidenses estaban luchando para conquistar la isla de Nueva Guinea. Los japoneses necesitaban enviar refuerzos al frente de batalla, para lo que organizaron un convoy de reabastecimiento desde Rabaul hasta Lae, que era el punto esperado de descarga. Un factor a tener en cuenta eran las condiciones meteorológicas, ya que al norte de la isla de Nueva Bretaña, donde se encontraba la ciudad de Rabaul, punto de origen del convoy, había lluvias torrenciales y malas condiciones de visibilidad.

Opciones de las rutas en el mar de Bismarck. (*Polieconomics*, 2012).

Aplicando los cinco pasos que marca la doctrina de *Estimar la situación*, el general Kenney llegó a la conclusión de que los japoneses tenían dos rutas: una por el norte de Nueva Bretaña y otra por el sur de la isla. Ambas requerían tres días para llegar a Nueva Guinea.

Resúmanse ahora estos cuatro supuestos en una matriz de decisión. Como función de pago están representados los días de bombardeos posibles para cada situación:

		Estrategia de los japoneses II	
		Ruta del norte	Ruta del sur
Estrategias de Kenney	Ruta del norte	2	2
	Ruta del sur	1	3

Representación de las posibles estrategias en la batalla del mar de Bismarck.

Los norteamericanos buscarán una estrategia que maximice sus opciones de victoria, mientras que los japoneses escogerán una que minimice las pérdidas. Si ambas opciones coinciden, se dice que nos encontramos en un punto de silla. Este no deja de ser un equilibrio en el cual cada agente no desea cambiar su estrategia debido a que esta es la mejor respuesta ante la elección de su rival (Owen, 2013) (Pérez, Limeno y Cerdá, 2004).

Aplicándose los conceptos anteriores:

		Estrategia de los japoneses II		Mínimos de cada fila
		Ruta del norte	Ruta del sur	
Estrategias de Kenney	Ruta del norte	2	2	2 maximin
	Ruta del sur	1	3	1
Máximos de cada columna		2 (minimax)	3	

Maximin y minimax de cada una de las estrategias.

Kenney se asegura como mínimo tener dos días de bombardeos si escoge la ruta del norte, mientras que los japoneses tendrán la mínima exposición si escogen ir por esta misma ruta. Se recuerda que ambos estrategas desconocen la elección del rival. Sin embargo, en caso de que la hubiesen sabido, no habrían cambiado de opinión y habrían mantenido las mismas elecciones (Haywood, *Military Decision and Game Theory*, 1954). El resultado real de la batalla coincidió con lo predicho por la Teoría de Juegos.

El caza más moderno de que dispone España, el *Eurofighter Typhoon EF-2000*.
(Página *web* del Ejército del Aire).

Esta también puede emplearse en procesos de decisión de diseño de nuevo armamento. Un ejemplo sería la decisión de equipar a los cazas de nueva generación con distintos sistemas de armas, como pueden ser cañones, cohetes, misiles o ametralladoras (Chicarro, 1988), cada uno con sus ventajas o desventajas en función del tipo de enemigos de los cazas. Supóngase que los cazas deben ser empleados contra tres tipos de bombardeos, caracterizados de la siguiente forma:

— Bombarderos lentos pero de gran potencia de fuego.
— Bombarderos de velocidad media y con potencia de fuego media.
— Bombarderos rápidos pero con apenas armas.

En función de determinados datos estadísticos recogidos en los diferentes ejercios y combates de las últimas décadas, se puede establecer la eficacia de cada sistema de armas de los cazas contra los bombarderos. En la siguiente matriz de pagos aparecen resumidas las cuatro estrategias de elección de los sistemas de armas de los cazas, los distintos tipos de bombarderos supuestos y, para cada par de estrategias, el factor de eficacia de los cazas sobre los bombarderos en función de la probabilidad de destrucción de estos últimos (véase cuadro de la página siguiente).

Se concluye de la matriz anterior que el punto de silla de este juego que modela el proceso de decisión de los sistemas de armas es la elección del misil, que asegura un porcentaje mayor de destrucción contra la opción más

		Bombarderos			Mínimos de cada fila
		Pequeña vel.	Vel. media	Gran velocidad	
Cazas	Cañones	0,30	0,25	0,15	0,15
	Cohetes	0,18	0,14	0,16	0,14
	Misiles	0,35	0,22	0,17	0,17 (maximin)
	Ametralladoras	0,21	0,16	0,10	0,10
Máximos de cada columna		0,35	0,25	0,17 (minimax)	

Maximin y minimax de la elección del sistema de armas.

conservadora del enemigo, es decir, aquella que le produzca menos bajas, que en este caso es el empleo de bombarderos muy rápidos. De esta manera, ambos bandos se aseguran al menos destruir un 17 por 100 de los bombarderos, porcentaje que es satisfactorio para todos, no pudiendo ninguno de ellos hacer una elección mejor.

Dilemas sociales en situaciones geoestratégicas

A continuación, se exponen los diversos problemas que presenta la cooperación en los juegos en forma normal cuando para conseguir ciertas ganancias los agentes necesitan cooperar entre sí. Existen 78 juegos 2 x 2 surgidos de jerarquizar los resultados posibles en vez de asignarles valores numéricos (Poundstone, 2006). Se pueden distinguir dos planos: lo que es bueno para el conjunto de los agentes y lo que es bueno para cada uno de ellos. Si no hay conflicto entre esos dos planos y lo bueno para el grupo es lo bueno para cada agente individualmente, existirán incentivos para la cooperación. Pero si eso no ocurre así, los agentes se encuentran ante un dilema entre hacer el bien común o el bien propio (Sánchez-Cuenca, 2004). Lo curioso de estos dilemas es que se presentan en la sociedad a menudo y pueden llegar incluso a modelizar conflictos históricos, como la carrera armamentística durante la Guerra Fría (Poundstone, 2006).

La solución de los dilemas anteriormente introducidos se obtiene mediante la búsqueda de la estrategia de equilibrio. Para ello, se emplea la generalización que propuso John Nash del concepto del punto de silla llamado *Equilibrio*, que se define como la combinación de estrategias, en las cuales cada una es una respuesta óptima a la otra (Sánchez-Cuenca, 2004). Por tanto, si ambos jugadores son racionales, no querrán desviarse de sus estrategias óptimas, ya que se arriesgarían a emplear una respuesta no óptima (Pérez, Limeno y Cerdá, 2004). Existen varios métodos de resolución de juegos para la obtención del equilibrio de Nash. Aquí se va a explicar el método de los pagos subrayados por su utilidad práctica y sencillez (Pérez, Limeno y Cerdá, 2004). Se basa en comparar los pagos que un jugador obtendría si jugase cada una de sus estrategias para cualquiera estrategia que juegue el rival y subrayar el pago máximo alcanzable que corresponde a la estrategia óptima a dicha combinación. El equilibrio será aquel par de estrategias con todos sus pagos subrayados.

El dilema que se expone a continuación es el llamado Juego del Gallina. La presentación es la siguiente: dos jugadores se retan a una carrera de coches cuyo final es el borde de un acantilado. El ganador será aquel que frene el último, evitando caer por el precipicio. El que frene antes será considerado un cobarde (Sánchez-Cuenca, 2004). Un ejemplo sería esta versión numérica del juego que modela ambas actitudes:

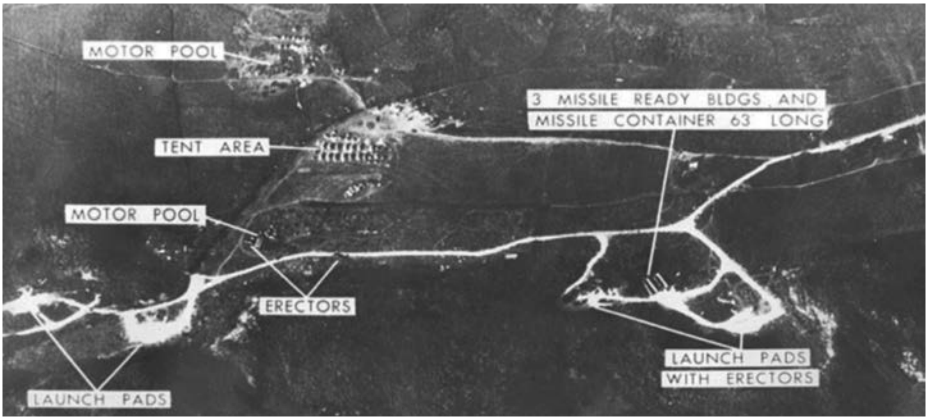
		Jugador 2	
		Cooperar	Desertar
Jugador 1	Cooperar	2,2	1,3
	Desertar	3,1	0,0

Tabla 4. Ejemplo del Juego del Gallina con pagos máximos subrayados de cada jugador.

Analizando este juego, se observa que existen dos equilibrios de Nash, que son cooperar el jugador 1 siendo este el cobarde (*D, C*), y el caso contrario, en el que sea el jugador 2 el que copere (*C, D*). Otra vez, como en el dilema del prisionero, la mejor opción sería cooperar ambos jugadores, ya que no habría ganador y ninguno podría perder la vida al caer por el desfiladero (Poundstone, 2006).

Aquí, el dilema es saber cuál de los dos equilibrios se va a producir. Esto es debido a que el juego depende de más factores que no están representados en la matriz de pagos. Si el jugador 1 asume que el jugador 2 va a desertar, lo mejor que puede hacer es cooperar y viceversa. El problema es cómo sabe el jugador 1 que el jugador 2 va a desertar. Pues, por ejemplo, el jugador 2 hace ver que tiene el freno bloqueado para que el jugador 1 no tenga otra opción que cooperar y frenar.

La crisis de los misiles de Cuba en el año 1962 fue uno de los picos de tensión más álgidos de la Guerra Fría. Tras años de hostilidad entre los cubanos y los norteamericanos, el país caribeño decide acercarse al bloque comunista. Como resultado, los soviéticos obtienen la posibilidad de instalar misiles balísticos de alcance medio en Cuba. Esto suponía que si se producía un lanzamiento, este tendría un alcance de casi la totalidad del territorio estadounidense, con una alerta de tan solo cinco minutos.



Vista aérea de los silos de misiles. (USAF, 1962).

De este modo, los norteamericanos se plantearon el escenario de destruir los misiles e invadir la isla de Cuba para que los soviéticos no los volviesen a instalar. Ello provocaría una respuesta soviética (que probablemente ocurriría en Berlín occidental), lo que daría comienzo a la Tercera Guerra Mundial. Pero no era una opción razonable para ambas potencias. Otro aspecto a tener en cuenta es que no existía una línea de comunicación directa entre el presidente de los Estados Unidos y el de la Unión Soviética. Por tanto, esta situación se asemeja al dilema del Gallina. Ambos jugadores van a amenazar con la guerra para que el contrario ceda en sus pretensiones: uno de retirar los misiles de Cuba y el otro de que se retiren los misiles en Europa Occidental. Si no se llegaba a un acuerdo, ambos bloques *chocarían* y estallaría un conflicto nuclear (Poundstone, 2006).

Analícese esta situación mediante la modelización de la situación con el juego de la gallina:

		URSS	
		Cooperar	Desertar
Estados Unidos	Cooperar	2,2	1,3
	Desertar	3,1	0,0

Matriz de pagos de la crisis de los misiles.

Los equilibrios de Nash son *D, C* y *C, D*. La solución aparente es que ambas potencias cooperen y lleguen a un acuerdo para evitar el holocausto nuclear. Pero esa estrategia no es óptima, ya que no es un equilibrio de Nash.

Por tanto, las dos líneas de acción más probables son que los norteamericanos fuercen a los soviéticos a retirar los misiles y que estos lo hagan, o que los norteamericanos intenten llegar a un acuerdo y claudiquen ante las acciones de la URSS para mantener en Cuba los misiles. Para poder analizar en profundidad este juego se deben tener en cuenta los factores externos a esa matriz de pagos. En este caso, el compromiso por desertar por parte de un jugador, el presidente J. F. Kennedy. Este amenazó a los soviéticos con responder a un ataque nuclear lanzado desde territorio cubano (Zagare, 2014). Los Estados Unidos mantuvieron esa línea dura con la esperanza de ganar la batalla de los nervios a los soviéticos. No obstante, también dejaban abierta la puerta a una futura negociación con la decisión del bloqueo naval de Cuba para impedir que llegasen nuevos misiles. Esto permitió ver el compromiso de Kruschev de instalar esos misiles cuando los buques soviéticos se acercaron a la línea naval norteamericana. Cuando dieron media vuelta, Kennedy sabía que había ganado la batalla y la resolución del conflicto estuvo más cerca. Finalmente, una vez que este supo de su fortaleza, se buscó una solución negociada para la retirada de los misiles, alcanzándose un compromiso bajo supervisión de Naciones Unidas. A cambio, la URSS obtuvo la promesa de que Estados Unidos nunca invadiría la isla de Cuba. Cabe aclarar que el resultado del juego anterior no fue C, C. Dicho estado se alcanzó una vez finalizado el mismo, ya que previamente Kennedy le había ganado la batalla a Kruschev.

Conclusiones

En este artículo se ha hecho un breve recorrido introductorio sobre diversos ejemplos de la aplicación de la Teoría de Juegos al ámbito militar. Desde sus comienzos, los estrategas han visto su potencial para modelar situaciones de conflicto, como se ha visto reflejado en los diversos artículos publicados al respecto y presentados en este trabajo. Además, se ha probado la utilidad de la Teoría de Juegos para el modelado de diferentes situaciones de conflicto, como pueden ser las batallas representadas a través de los juegos de suma cero o bien los distintos dilemas sociales que han ido modelando diferentes situaciones geoestratégicas ocurridas durante el siglo XX.

El objetivo de este artículo es presentar las capacidades de la Teoría de Juegos y su futura aplicación a la toma de decisiones en los procesos de planificación estratégicos y tácticos. Su capacidad predictiva, basándose en el concepto de equilibrio de los distintos tipos de juegos que modelan las situaciones a analizar, constituye una herramienta potente con la cual complementar los procesos de toma de decisiones, como se ha visto en las aplicaciones bélicas que se han presentado en el trabajo. Además, se cumple la premisa de la racionalidad de los actores que toman las decisiones necesarias para que esa capacidad predictiva se cumpla.

Por último, resaltar que, pese a la gran cantidad de bibliografía existente en este campo, no hay mucha información sobre la aplicación de la Teoría de Juegos al ámbito militar (Fernández Novo, 2017). La producción científica mayormente proviene de los colegios de Guerra y centros militares de investigación de los Estados Unidos, Rusia y China, que en los últimos años han publicado gran número de trabajos sobre Teoría de Juegos para el modelado de situaciones, como por ejemplo el diseño de ataques aéreos coordinados a distintos blancos (Yao Zongxin, 2016).

BIBLIOGRAFÍA

BINMORE, K. (2015): *Teoría de Juegos, una breve introducción*. Madrid, Alianza Editorial.

CHICARRO, M. F. (1988): *Aplicaciones Aeronavales de la Investigación Operativa*. Madrid, Ministerio de Defensa.

FERNÁNDEZ NOVO, Y. (2017): *Aplicación de la Teoría de Juegos a la estrategia militar para la toma de decisiones en situaciones de conflicto*. Trabajo Fin de Grado, Centro Universitario de la Defensa de Marín.

HAYWOOD, O. G. (1954): «Military Decision and Game Theory». *Journal of the Operations Research Society of America*.

L., C. G. (2003): *Can two person zero sum game theory iprove military decision-making course of action selection?* Fort Leavenworth, School of Advanced Military Studies US Army Command and General Staff College.

NEUMANN, J. V.; MORGENSTERN, O. (1953): *Theory of Games and Economic Behavior*. Princeton University Press.

OWEN, G. (2013): *Game Theory*. Bingley, Emerald.

PÉREZ, J.; LIMENO, J. L., y CERDÁ, E. (2004): *Teoría de Juegos*. Madrid, Pearson.

Polieconomics (2012): (recuperado el 2 de enero de 2017 en *http://www.policonomics.com/)*.

POUNDSTONE, W. (2006): *El dilema del prisionero*. Madrid, Alianza Editorial.

SÁNCHEZ-CUENCA, I. (2004): «Teoría de Juegos» (*Cuadernos Metodológicos*). Madrid, Centro de Investigaciones Sociológicas.

USAF: *Cuba. An aerial view showing the medium range ballistic missile field launch site number two at Sagua la Grande*.

VOGEL, H.: *Hindenburg auf dem Schlachtfeld bei Tannenberg*. German Federal Archives.

YAO ZONGXIN, L. M. (2016): «Mission decision-making method of multi-aircraft cooperatively attacking multi-target based on game theoretic framework». *Chinese Journal of Aeronautics*, 1685-1694.

ZAGARE, F. C. (22 de enero de 2014): «A Game-Theoretic History of the Cuban Missile Crisis», *Economies*, pp. 20-44.

Buque de asalto anfibio *Castilla* durante
el ejercicio MARFIBEX-81.
(Foto: *www.flickr.com/photos/armadamde*).