

Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de las Tecnologías
Industriales

Aplicación de la Teoría de Juegos al costo del agua
y la epidemia de gripe aviar

Autor: Tomás Charlo Pumar

Tutor: Manuel Ordóñez Sánchez

Dpto. Matemática Aplicada II
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2020



Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de las Tecnologías Industriales

Aplicación de la Teoría de Juegos al costo del agua y la epidemia de gripe aviar

Autor:

Tomás Charlo Pumar

Tutor:

Manuel Ordóñez Sánchez

Dpto. de Matemática Aplicada II
Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2020

Trabajo Fin de Grado: Aplicación de la Teoría de Juegos al costo del agua y la epidemia de gripe
aviar

Autor: Tomás Charlo Pumar

Tutor: Manuel Ordóñez Sánchez

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2020

El Secretario del Tribunal

A mi familia

A mis amigos

A mis profesores

Resumen

En esta memoria presentamos dos problemas, uno relacionado con el costo del agua y el otro con una epidemia de gripe aviar.

Los dos problemas van a ser abordados mediante la teoría de juegos. En particular, el primero se aborda mediante un juego de costos que reparte de manera equitativa y proporcional el agua usada por tres agentes heterogéneos pero conectados. También tenemos en cuenta que hay distintos tipos de agua.

El segundo problema consiste en diseñar una estrategia para paliar los efectos de la gripe aviar en Vietnam, para ello modelamos el problema de manera no cooperativa y lo resolvemos mediante un dilema del prisionero, que nos permite discernir la estrategia a usar.

Abstract

In this report, we present two problems, one related to the cost of water and the other one to an epidemic of avian flu.

Both problems will be addressed through game theory. In particular, the first one, is addressed through a cost game that equitably and proportionally distributes the water used by three heterogeneous but connected agents. We also take into account that there are different types of water.

The second problem is to design a strategy to mitigate the effects of the avian flu in Vietnam. In order to achieve it, we model the problem in an uncooperative way and solve it through a prisoner's dilemma, which allows us to discern the strategy to be used.

ÍNDICE

Resumen	8
Abstract	9
Índice	10
Índice de figuras	11
Índice de tablas	12
1 Introducción	13
2 Teoría de juegos	21
2.1 <i>Introducción</i>	21
2.2 <i>Los Juegos Cooperativos</i>	22
2.2.1 El Conjunto de Imputaciones	24
2.2.2 El Core	25
2.2.3 El Valor de Shapley	26
2.3 <i>Los Juegos No Cooperativos. Equilibrio de Nash.</i>	27
3 Aplicación de la teoría de juegos al costo del agua	29
3.1 <i>Introducción</i>	29
3.2 <i>Juego no cooperativo</i>	33
3.2.1 Juego entre gobierno y agricultores	34
3.2.2 Juego entre gobierno y las empresas municipales	36
3.3 <i>Resolución de sistema ficticio</i>	37
3.4 <i>Conclusión</i>	38
4 Epidemia de gripe aviar	39
4.1 <i>Introducción</i>	39
4.2 <i>Respuesta a la amenaza de una pandemia de gripe aviar</i>	39
4.3 <i>Estrategia de acción</i>	48
4.4 <i>Conclusión</i>	49
5 Conclusiones	50
Referencias	51
<i>Referencias electrónicas</i>	51
<i>Referencias literarias</i>	51
Anexo	52
<i>Código dilema del prisionero</i>	52
Índice de definiciones	60
Índice de teoremas	61
Índice de axiomas	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Desinfección de virus de la gripe aviar.....	13
Figura 2: Tratamiento de cólera	14
Figura 3: Fumigación de vía pública.....	14
Figura 4: Consulta médica para el ébola.....	15
Figura 5: Mosquitera para la malaria.....	16
Figura 6: Vacuna contra el sarampión	16
Figura 7: Campaña publicitaria contra la meningitis.....	17
Figura 8: Vacuna contra la fiebre amarilla	18
Figura 9: Método de detección de tuberculosis.....	19
Figura 10: El dilema del prisionero.....	28
Figura 11: Ejemplo de contaminación del agua.....	30
Figura 12: Distribución del agua en el planeta y top países mas contaminantes de océanos.....	30
Figura 13: Río Han.....	31
Figura 14: Diagrama del proceso de juego.....	33
Figura 15: Afectación de virus H5N1 en las aves de corral.....	47
Figura 16: Ejemplos de virus.....	49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Juego entre gobierno y agricultores.....	35
Tabla 2: Juego entre empresa municipal y gobierno	36

1 INTRODUCCIÓN

Una epidemia es el aumento extraordinario del número de casos de una enfermedad infecciosa que ya existe en una región o población determinada. Puede referirse también a la aparición de un número importante de casos de una enfermedad infecciosa en una región o población habitualmente libre de la enfermedad.

Las epidemias pueden ser consecuencia de otros desastres, como tormentas tropicales, inundaciones, terremotos, sequías, etc. Pueden afectar también a animales y causar desastres económicos locales.

En general, en la respuesta a epidemias, la Cruz Roja y la Media Luna Roja dan prioridad a la sensibilización, la promoción de medidas eficaces, la movilización social basada en actividades voluntarias y el apoyo de logística (transporte, almacenes, etc.). En muchos casos, el apoyo de la Federación complementa la actuación de los organismos de las Naciones Unidas.

La gripe aviar es una infección viral que afecta principalmente a aves (pollos, patos, gansos, etc.), tanto a especies domésticas como migratorias), aunque a veces también a otras especies como cerdos y tigres.

Raramente, la gripe aviar puede causar infecciones graves en personas. Existen muchas cepas o variedades diferentes de virus de la gripe aviar. Pertenecen a un subgrupo de virus de la gripe que incluye también al que todos los años causa en todo el mundo los brotes estacionales entre las personas.



Figura 1: Desinfección de virus de la gripe aviar

El cólera

El cólera se propaga fundamentalmente a través del consumo de agua contaminada por excrementos. La tasa de mortalidad en casos graves no tratados es del 50 por ciento. En pacientes con tratamiento, esta tasa disminuye a un uno por ciento.

El período de incubación es de 1-12 días, y los casos graves requieren hospitalización. Las personas afectadas menos gravemente pueden recibir un tratamiento ambulatorio de rehidratación. Sólo el 10 por ciento de las personas infectadas presenta síntomas.

Los factores clave para controlar esta enfermedad son asegurar el abastecimiento de agua potable y una higiene rigurosa (lavado de manos y eliminación de material sucio).

Las salas abarrotadas de personas no plantean un peligro para el personal ni los pacientes si se observan las prácticas de higiene adecuadas. No es necesario observar períodos de cuarentena. En situaciones de emergencia, la vacunación es improcedente.



Figura 2: Tratamiento de cólera

El dengue

El dengue o fiebre quebrantahuesos y la fiebre hemorrágica del dengue son enfermedades transmitidas por un mosquito de actividad diurna. El dengue raramente es mortal. Sin embargo, en las personas que padecen la variedad hemorrágica y no reciben tratamiento, la tasa de mortalidad puede alcanzar un 40 a 50 por ciento. Con atención hospitalaria y un tratamiento rápido, esta tasa puede reducirse a menos de un cinco por ciento.

No existe vacuna o tratamiento específico. Las medidas para evitar epidemias abarcan la destrucción de mosquitos y la eliminación de los lugares donde se reproducen, así como la aplicación de sustancias repelentes por parte de las personas expuestas.



Figura 3: Fumigación de vía pública

Ébola y Marburgvirus

Ébola y Marburgvirus son dos enfermedades virales distintas, con síntomas similares. Ambas se caracterizan por una tasa de mortalidad alta (hasta el 90 por ciento en la fiebre Ébola) y por ser extremadamente contagiosas. Se transmiten por contacto a través de todos los fluidos y órganos del cuerpo, la utilización de agujas y jeringas contaminadas, y aerosoles.

Para evitar la contaminación de las personas que participan en la asistencia a los pacientes, deben adoptarse medidas de precaución extraordinarias. Se desconocen los reservorios u origen de los dos virus.



Figura 4: Consulta médica para el ébola

Paludismo o malaria

El paludismo o malaria se transmite por picadura del mosquito *Anopheles*, activo desde el atardecer al amanecer.

En las regiones en donde esta enfermedad es endémica, la población local posee cierto grado de inmunidad. Las personas que afrontan un mayor riesgo son las que proceden de áreas libres de paludismo, como desplazados internos o refugiados. Para protegerlas, puede proporcionárseles una dosis semanal de un medicamento antipalúdico. Existen cuatro tipos de paludismo. El causado por *Plasmodium falciparum* puede ocasionar rápidamente la muerte y debe tratarse con inmediatez.

El paludismo se trata con medicamentos administrados por vía oral. Las medidas de control incluyen la fumigación, el relleno o drenaje de lugares con aguas estancadas en donde pueden reproducirse los mosquitos, la fumigación de viviendas y dormitorios y la utilización de mosquiteros. Tanto la cuarentena como la inmunización de los contactos son innecesarias. Cuando la cobertura de inmunización es inferior al 90 por ciento, el riesgo de aparición de brotes es importante.



Figura 5: Mosquitera para la malaria

El sarampión

El sarampión es una enfermedad viral altamente contagiosa cuya tasa de mortalidad puede ser muy elevada, especialmente entre niños y en poblaciones desnutridas.

Un programa de vacunación inmediato e integral en la fase inicial de un brote puede contribuir a limitar la propagación de esta enfermedad. Si las reservas de vacunas son limitadas, debe inmunizarse prioritariamente a niños desnutridos y hospitalizados, y en segundo lugar a niños entre seis meses y dos años de edad. El almacenamiento de la vacuna requiere una cadena de frío que funcione adecuadamente. El aislamiento o la cuarentena no tienen sentido desde el punto de vista práctico



Figura 6: Vacuna contra el sarampión

La meningitis meningocócica

La meningitis meningocócica es una enfermedad bacteriana aguda. Se presenta en brotes epidémicos separados por intervalos de tiempo irregulares y de duración desconocida. Afecta

principalmente a niños y adultos jóvenes, en especial a los que viven en condiciones de hacinamiento.

Esta enfermedad se transmite por contacto directo con secreciones nasales y de la faringe. Las personas infectadas deben aislarse de las demás, y otras personas con las que han estado en contacto deben someterse a una estrecha vigilancia médica.

Es esencial administrar un tratamiento rápido con penicilina o ampicilina. Las campañas de inmunización de emergencia son razonablemente eficaces.



Figura 7: Campaña publicitaria contra la meningitis

La fiebre amarilla

La fiebre amarilla es una enfermedad viral mortal, de rápida propagación, transmitida por un mosquito. Se presenta únicamente en algunas partes de África y América del Sur. Es una enfermedad transmisible.

Las medidas para controlar una epidemia deben incluir la vacunación en gran escala de las personas en riesgo; el examen y la fumigación de las habitaciones de los pacientes y las salas hospitalarias para evitar la presencia de mosquitos; la eliminación de todos los lugares en que potencialmente puedan reproducirse los mosquitos o la aplicación de larvicidas en dichos lugares; y la fumigación de todas las viviendas de la comunidad con insecticidas. La vacunación proporciona inmunidad durante 10 años.



Figura 8: Vacuna contra la fiebre amarilla

VIH/SIDA

El VIH/SIDA (virus de la inmunodeficiencia humana/síndrome de la inmunodeficiencia adquirida) se cobrará más vidas en esta década que el conjunto de las guerras y los desastres de los últimos 50 años. Desde que se declaró la epidemia del SIDA, han muerto 25 millones de personas. Actualmente viven con el VIH y el SIDA más de 40 millones de personas. Sólo en 2001 se infectaron en todo el mundo 5 millones de personas.

Las enfermedades epidémicas no son nuevas, pero lo que distingue al VIH/SIDA es su repercusión negativa sin precedentes sobre el desarrollo económico y social de los países. Todos, ricos y pobres, jóvenes y ancianos, se ven afectados por la epidemia, pero los habitantes de los países en desarrollo, y en particular las mujeres jóvenes, son más vulnerables. La mayoría de las víctimas son adultos en sus mejores años, como padres y trabajadores. Dejan como herencia una fuerza de trabajo diezmada, comunidades fracturadas y empobrecidas y millones de huérfanos.

Aunque el 70 por ciento de las personas infectadas por el VIH vive en el África subsahariana, el SIDA es un problema mundial. En países como Zimbabwe y Botswana, más del 25 por ciento de los habitantes de entre 15 y 49 años está infectado por el virus. El VIH se está propagando también rápidamente en Asia meridional y sudoriental, los países de la antigua Unión Soviética y el Caribe.

El SIDA se puede prevenir. La lucha contra esta enfermedad se debe librar en el plano local. Las personas y comunidades pueden hacer frente a la propagación del VIH/SIDA informándose debidamente, evaluando con precisión los factores que las ponen en riesgo de infectarse y actuando en consecuencia para reducir esos riesgos. El problema, según el Banco Mundial, es que la escala de actividades coordinadas no ha sido suficiente para desacelerar y finalmente reducir el ritmo de propagación de la enfermedad. Los individuos, los gobiernos, la sociedad civil, los grupos del sector privado, las organizaciones internacionales y las organizaciones no gubernamentales deben comprometerse y participar plenamente en el aumento de la escala de actuación y velar por que haya iniciativas complementarias en los planos nacional y regional.

Puede encontrarse más información sobre el VIH y el SIDA en la sección de salud del sitio web

de la Federación Internacional.

La tuberculosis

La tuberculosis es la enfermedad infecciosa más letal y causa todos los años la muerte de dos millones de personas. De los ocho millones de nuevos casos que se notifican anualmente, el 95 por ciento se declara en países en desarrollo. Asia y el África subsahariana son las regiones más gravemente afectadas, pero últimamente la incidencia de esta enfermedad y las muertes relacionadas con la misma han aumentado notablemente en Europa oriental, después de muchos años de descenso constante. Se estima que un 75 por ciento de los tuberculosos tiene entre 15 y 44 años de edad, por lo que esta enfermedad afecta seriamente al desarrollo socioeconómico.

En 1993, como respuesta a la crisis cada vez más grave, la Organización Mundial de la Salud (OMS) estableció la Alianza Alto a la tuberculosis. Desde 1998, la Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y de la Media Luna Roja colabora estrechamente con las Sociedades Nacionales y la OMS en la lucha contra la epidemia de tuberculosis en Europa oriental. En un principio, el objetivo de las actividades era servir de proyectos piloto para adquirir experiencia y brindar asistencia a los pacientes y sus familiares. Los programas han revelado que para luchar con más eficacia contra la epidemia en todo el mundo es urgentemente necesario aumentar la escala de las actividades.



Figura 9: Método de detección de tuberculosis

En este documento se abordan dos problemas que he de resolver siguiendo una determinada estrategia. En primer lugar, se trata la aplicación de la Teoría de Juegos a la problemática de la contaminación del agua con origen la agricultura. Y, en segundo lugar, de la misma manera, la aplicación de la teoría de juegos como instrumento para decidir sobre ciertas actuaciones para concluir con la pandemia.

Como sabemos, el agua es un bien escaso, esto ha sido y sigue siendo un núcleo de disputas a la hora de realizar acuerdos entre partes que, comparten un recurso de agua, que tienen que distribuir

costes al hacer un análisis económico del recurso, que comparten la tierra en la que se haya, etc. Aunque no sean objeto de esta investigación, hay otras ramas que forman parte de la problemática del agua ocasionando conflictos locales, nacionales e internacionales, como son; el tratamiento del agua multiobjetivo, aguas subterráneas o aguas transfronterizas.

Muchas actividades económicas derivadas de los casos anteriormente mencionados están sujetas a una gestión estratégica por parte de particulares, así como por parte de empresas, otras compañías, localidades, países etc. La teoría de juegos sirve de gran ayuda a la hora de tomar decisiones en diversos sectores como pueden ser comunicación, transporte, aeronáutica o energía entre otros.

En el caso específico de los recursos de agua, la Teoría de Juegos no está del todo explotada, es decir, expertos y especialistas no han hecho uso de su máxima capacidad a la hora de aplicarla. Esto se debe a que es complicado de hacer una justa distribución de costes en lo que se refiere al agua, si queremos tener en cuenta la contaminación. Medir lo que un particular, la agricultura o un negocio contamina el agua en un lugar y momento determinado es difícil de evaluar además de requerir un trabajo de inspección constante y de alto precio.

Aplicar la Teoría de Juegos Cooperativos, del inglés “Cooperative Game Theory” (CGT), en la mayoría de los casos consiste en repartir beneficios y/o costes. Estos vienen tanto de un ahorro en inversiones y costes operativos, como de un aumento del bienestar asociado al uso de este medio, nuevas oportunidades que surgen gracias a un trabajo colaborativo. Lo que ofrece la CGT en general, es una justa distribución de los beneficios obtenidos a partir de un trabajo cooperativo que, dependiendo de la solución, cumple una serie de requisitos previamente conocidos.

Los juegos no cooperativos, como se verá más adelante, cumplen una función de herramienta estratégica de apoyo a la hora de tomar decisiones, muy útil en temas relacionados con los organismos que se encargan de los distintos servicios del agua y las tasas de recuperación.

Más tarde, como ya hemos comentado, se trata el tema de las pandemias de origen animal y concretamente, la expansión internacional del virus H5N1 o Influenza con origen en las aves de corral de Vietnam. Para entender cómo actuar en caso de una alerta mundial provocada por una enfermedad, se detallan las distintas medidas que hay que tomar para cada fase de desarrollo de la epidemia. El problema principal que se plantea es decidir si es mejor vacunar a la población antes o después de contagiarse, para ello utilizaremos el dilema del prisionero que posteriormente explicaremos.

2 TEORÍA DE JUEGOS

2.1 Introducción

Un juego es una situación con ciertas reglas que envuelve a un grupo de agentes que pueden obtener ciertos beneficios. En un juego cada agente intenta conseguir el mejor resultado posible, teniendo en cuenta que el resultado del juego depende tanto de sus acciones como de las acciones de otros agentes. Esta es la característica principal de los juegos: tomar las decisiones que más convienen para ganar, teniendo que cumplir las reglas del juego, y sabiendo que los demás agentes también influyen en los resultados con sus decisiones.

En economía se estudian a menudo situaciones de decisión individual, en las que el agente intenta maximizar su utilidad, sin importar lo que hagan los otros. Por ejemplo:

- Elección de cantidades de cada bien a comprar por parte de un consumidor. Se suponen como dato los precios de los bienes, así como la renta del consumidor.
- Elección de cantidades de un bien a producir por parte de una empresa. Se suponen dados los precios del bien y de los factores de producción y conocida la función de producción.
- Elección del precio de un bien por monopolista. Se suponen dados los precios de los factores de producción y la curva de demanda de dicho bien y conocida la función de producción. Sin embargo, hay muchas otras situaciones en que la utilidad del resultado final no depende solo de la acción del agente, sino también de los otros agentes, por ejemplo: elección por la empresa A de la cantidad a producir de un bien o del precio de dicho bien, si también los produce la empresa B y ninguna más (duopolio). Los resultados finales para la empresa A dependen de sus propias decisiones y de las de B.
- Elección por una empresa de automóviles de un nivel de gasto en publicidad. Las consecuencias finales de dicho gasto dependen del gasto realizado en publicidad por las empresas competidoras.
- Elección por un coleccionista de su puja (cantidad de dinero que ofrece) en la subasta de un cuadro. Los resultados (consigue o no que se adjudiquen el cuadro subastado) dependen también de la puja de otros participantes.

El planteamiento según el cual no importa lo que hagan otros agentes es más bien una simplificación de la realidad. La teoría de juegos se ocupa, por tanto, del análisis riguroso y sistemático de esas situaciones, donde interfieren las acciones de los agentes. Así pues, la Teoría de Juegos podría llamarse teoría de la decisión interactiva, que es diferente de la teoría de la decisión individual. Fue introducida por Von Neumann y Morgenstern en 1944 y numerosos premios Nobel de economía han trabajado sobre ello, Aumann, Sentel, Shapley.

Algunos aspectos básicos en un juego son los siguientes:

Se denominan jugadores a los agentes del juego que toman las decisiones con el fin de maximizar su utilidad. Son dos o más.

Las acciones de cada jugador son las decisiones que puede tomar cada jugador en cada momento que le toque jugar.

El conjunto de acciones de un jugador en cada momento del juego puede ser finito o infinito. Una

estrategia de un jugador es un plan completo de acciones con las que éste podría proponerse participar en dicho juego. Un perfil de estrategias es un conjunto de estrategias, una por cada jugador.

Los jugadores pueden formar grupos que realicen acciones y estrategias conjuntas. A estos grupos se les llama coaliciones.

Los resultados del juego son los distintos modos en los que puede concluir un juego. Cada resultado lleva aparejado unas consecuencias para cada agente.

Cada jugador recibe un pago al acabar el juego, que depende de cuál haya sido el resultado del juego. El significado de dicho pago es la utilidad que cada jugador atribuye a dicho resultado; es decir, la valoración que para el jugador tienen las consecuencias de alcanzar un determinado resultado en el juego.

Hay dos tipos de juegos básicos, o, dicho de otro modo, dos enfoques diferentes en el análisis de un juego: cooperativos y no cooperativos.

En el enfoque cooperativo se analizan las posibilidades de que algunos o todos los jugadores lleguen a un acuerdo sobre qué decisiones tomaría cada jugador en ausencia de acuerdo previo. Dos aspectos son vitales en dicho análisis: qué coaliciones se formarán y cómo se repartirán los beneficios obtenidos.

Entre los juegos no cooperativos caben dos distinciones básicas: los juegos estáticos o dinámicos, y juegos con o sin información completa.

En los juegos estáticos los jugadores toman sus decisiones simultáneamente (cada jugador decide sin saber que han decidido los demás), mientras que en los dinámicos puede darse el caso de que un jugador conozca ya las decisiones de otro antes de decidir.

En los juegos con información completa, todos los jugadores conocen las consecuencias, para sí mismos y para los demás, del conjunto de decisiones tomadas, mientras que, en los juegos con información incompleta, algún jugador desconoce algunas de las consecuencias.

2.2 Los Juegos Cooperativos

Como se comentó antes existe la posibilidad de que algunos jugadores puedan llegar a acuerdos vinculantes, que denominamos coaliciones. Si en el juego las únicas acciones posibles de los jugadores son la realización de cooperaciones con otros el juego se reduce a estudiar los resultados que puede obtener cada una de las coaliciones de jugadores que se puedan formar. Se trata de analizar cómo puede actuar un grupo de jugadores, interesándonos en los comportamientos colectivos y sin que haya falta de detenerse en las acciones individuales de cada uno de los miembros de la coalición. Dos preguntas han de responderse ante una situación como ésta: qué coaliciones se formarán y cómo se repartirán los beneficios obtenidos. En esta sección veremos cómo la teoría de juegos cooperativos responde a la segunda pregunta.

Sea $J = \{1, 2, \dots, N\}$ un conjunto finito de jugadores. Sea el conjunto de las partes de J , $P(J)$, que está formado por cada una de las posibles coaliciones que se pueden formar, incluyendo la coalición sin jugadores que es \emptyset .

Haremos dos suposiciones más con la idea de reducir el problema.

Consideramos que cada coalición puede determinar la mejor consecuencia que sus componentes

pueden asegurarse teniendo en cuenta sus acciones y la de los jugadores exteriores. Supongamos además que las utilidades de los jugadores son transferibles, lo cual quiere decir que las ganancias o pérdidas que se obtienen al actuar como coalición pueden repartirse entre los jugadores que la componen; en ocasiones este reparto no es posible por lo que no existe una forma de transferir la unidad, problemas que no serán objeto del estudio. En un juego cooperativo de unidad transferible, se llama *función característica* a una función que asigna a cada coalición un número real, asignando al conjunto de vacío el valor cero, es decir:

$$v: P(J) \rightarrow R,$$

$$S \rightarrow v(S)$$

Verificando que $v(\emptyset) = 0$. Esta última imposición sin interpretación posible es sólo una condición técnica.

Para una coalición $S \in P(J)$, al número $v(S)$, se le llama *valor de la coalición* y se interpreta como el valor mínimo que puede obtener la coalición si todos sus miembros se asocian y juegan en equipo. Se trata por tanto del valor que una coalición toma sus decisiones de forma adecuada. En este caso utilizaremos la interpretación de $v(S)$ como beneficio, aunque podría interpretarse como costos.

Definición 1:

Un juego cooperativo de unidad transferible consiste, por tanto, en un par $G = (J, v)$, dado por:

- *Un conjunto finito de jugadores $J = \{1, 2, \dots, n\}$*
- *Una función característica, v , que asocia a cada subconjunto S de J (o coalición) un número real $v(S)$ (valor de la coalición), siendo $v(\emptyset) = 0$.*

Definición 2:

Se dice que un juego $G = (J, v)$ es monótono si para todo par de coaliciones $S, T \subseteq J$, con $S \subseteq T$ se verifica siendo $T \geq S$, que:

$$v(S) \leq v(T)$$

Hablamos de un juego cooperativo monótono cuando al crecer el número de jugadores que forman una coalición el beneficio o pago de esta coalición no disminuye.

Definición 3:

Se dice que un juego $G = (J, v)$ es superaditivo si para todo par de coaliciones $S, T \subseteq J$, con $S \cap T = \emptyset$ se verifica que:

$$v(S) + v(T) \leq v(T \cup S)$$

Es decir, si dos coaliciones disjuntas deciden unirse para formar una coalición mayor, el beneficio de la nueva coalición será igual o superior que la suma de los beneficios de las coaliciones originales. Nos interesan, por lo tanto, los juegos superaditivos. Si extendemos la condición de superaditivo a coaliciones no disjuntas obtenemos un tipo de juegos con grandes propiedades.

Uno de los problemas a resolver en este tipo de juegos es qué coaliciones se formarán. Para simplificar el problema consideramos que la coalición que se formará será J . Sin embargo, la monotonía de v no garantiza el interés de los jugadores en J de que se forme la misma, ya que pondrían de mutuo acuerdo grupos más pequeños cuya suma de pagos fuese superior.

Definición 4:

Se dice que un juego $G = (J, v)$ es convexo si para todo par de coaliciones $S, T \subseteq J$ se verifica que:

$$v(S) + v(T) \leq v(T \cup S) + v(S \cap T)$$

Esta inecuación se expresa de la forma:

$$v(S) + v(T) - v(S \cap T) \leq v(T \cup S)$$

Es decir, si dos coaliciones no disjuntas deciden unirse para formar una coalición mayor, el beneficio de la nueva coalición será igual o superior que la suma de los beneficios de las coaliciones originales menos el valor de intersección entre dichas coaliciones.

Ambos conceptos son aplicables también a juegos de costos sin más que cambiar las desigualdades.

El juego (J, v) se dice subaditivo si para todo par de coaliciones $S, T \subseteq J$ donde se cumple que $S \cap T = \emptyset$. Se verifica que:

$$v(S) + v(T) \geq v(T \cup S)$$

2.2.1 El Conjunto de Imputaciones

Sea $G = (J, v)$ un juego cooperativo de utilidad transferible, en cual $J = \{1, 2, \dots, n\}$ es el conjunto de jugadores y v es la función característica. Si como hemos supuesto en el juego los jugadores deciden trabajar conjuntamente, es decir, cooperar, el único problema que se presenta consiste en cómo repartir el valor $v(J)$ entre los jugadores.

Sea $x = (x_1, \dots, x_n) \in \mathbb{R}^n$ un vector de distribución de pagos, donde para cada $i=1, 2, \dots, n$, x_i representa el pago que recibe el jugador i . Para cualquier coalición $S \subset J$, se utilizará la siguiente notación:

$$x(S) = \sum_{i \in S} x_i$$

Si deseamos hacer un reparto del valor de J , entonces debemos exigir el *principio de eficiencia*, esto es que:

$$x(J) = v(J)$$

Por otro lado, ningún jugador admitiría que su situación individual fuese mejor que su pago en la coalición, esto quiere decir que, para todo, se verifica el *principio de racionalidad individual*.

$$x_i \geq v(\{i\}).$$

Definición 5:

El conjunto de imputaciones de un juego cooperativo en su forma coalicional es:

$$I(J, v) = \{ x = (x_1, \dots, x_n) \in \mathbb{R}^n : x(J) = v(J), x_i \geq v(\{i\}) \forall i \in J \}$$

Sin embargo, la exigencia de más condiciones puede no ser básica para todas las situaciones de beneficios y costos. Por ello, hablamos en esos casos de conceptos de solución.

En las siguientes secciones, (2.2.2 y 2.2.3), veremos dos conceptos distintos de soluciones.

2.2.2 El Core

Siguiendo el principio de racionalidad individual, podemos pensar exigir la racionalidad condicional, esto es, para todo $S \subseteq J$ ocurre que, $x(S) \geq v(S)$.

Definición 6:

El Core de un juego cooperativo $G = (J, v)$ de beneficio en su forma coalicional es:

$$C(J, v) = \{ x = (x_1, \dots, x_n) \in \mathbb{R}^n : x(J) = v(J), x(S) \geq v(S) \forall S \subset J \}$$

El Core anterior es utilizado para problemas de beneficios. Cuando el problema es de costos;

Definición 7:

El Core de un juego cooperativo $G = (J, v)$ de costos en su forma coalicional es:

$$C(J, v) = \{ x = (x_1, \dots, x_n) \in \mathbb{R}^n : x(J) = v(J), x(S) \geq v(S) \forall S \subset J \}$$

Sea $G = (J, v)$, un juego cooperativo:

El Core, $C(J, v)$, del inglés “Núcleo”, es un conjunto cerrado, acotado y convexo. Sin embargo, el principal problema del Core es que puede ser o muy grande o bien incluso vacío. Si el core es vacío tendremos que olvidar la búsqueda de soluciones racionales para todas las coaliciones. Si es grande, la cuestión es cuál de sus vectores de pago escoger.

Veamos una condición equivalente a que el Core sea no vacío. Una familia $\{S_1, \dots, S_p\}$ de

subconjuntos de J , disjuntos y no vacíos, es *equilibrada* sobre J si existen números positivos, $\{\alpha_1, \dots, \alpha_m\}$ denominados pesos, tales que para todo $i \in J$ verifican lo siguiente:

$$\sum_{\{j, i \in S_j\}} \alpha_j = 1$$

Se dice que un juego es equilibrado si para toda familia equilibrada $\{S_1, \dots, S_m\}$ partición de J con pesos $\{\alpha_1, \dots, \alpha_m\}$ dse tiene que:

$$\sum_{j=1}^m \alpha_j v(S_j) \leq v(J)$$

Esto es, ninguna partición ponderada de J obtiene mejores beneficios.

Teorema 1:

Un juego es equilibrado si y sólo si El Core es no vacío.

2.2.3 El Valor de Shapley

Se trata de hacer una distribución de pagos entre los jugadores de manera que se cumplan determinados criterios, llamados axiomas, previamente establecidos.

Sea $G(J, v)$ un juego en forma coalicional, donde $J = \{1, \dots, n\}$, se considera la siguiente asignación de pago para los n jugadores:

$$\phi(J, v) = (\phi_1(J, v), \dots, \phi_n(J, v)) \in \mathbb{R}^n$$

La función de asignación de pagos $\phi(J, v)$ debe cumplir los siguientes axiomas o principios:

Axioma 1:

Eficiencia: La función de asignación $\phi(v)$ debe distribuir el pago total del juego. Es decir, la función debe ser:

$$\sum_i \phi_i(J, v) = v(J)$$

Axioma 2:

Simetría: Para cualquier par de jugadores que realicen aportaciones equivalentes para cada coalición, es decir, tales que cumplan que:

$$v(S \cup \{i\}) = v(S \cup \{j\}), \forall S \subset J, \text{ con } i, j \notin S$$

Se tiene que: $\phi_i(J, v) = \phi_j(J, v)$

Axioma 3:

Tratamiento del jugador pasivo: Si un jugador no aporta ningún beneficio adicional al resto de los jugadores, no debe recibir ningún pago coalicional. Es decir, para cada jugador $i \in J$ se verifica entonces que:

$$v(S \cup \{i\}) = v(S), \forall S \subset J, \text{ se tiene que } \phi_i(J, v) = v(\{i\})$$

Axioma 4:

Aditividad. La función de de asignación ϕ debe ser invariante a cualquier descomposición arbitraria del juego. Formalmente, dados dos juegos cualesquiera v y w , se tiene que

$$\phi_i(J, v + w) = \phi_i(J, v) + \phi_i(J, w), \forall i \in J$$

A continuación, teniendo en cuenta lo anterior, podemos enunciar el siguiente teorema:

Teorema 2:

La única asignación que verifica los 4 axiomas anteriores es el Valor de Shapley, que tiene la siguiente expresión:

$$\phi_i(J, v) = \sum_{\{S \subset N: i \in S\}} q(s)[v(S) - v(S \setminus i)], \forall i \in J$$

donde $q(s) = \frac{(n-s)!(s-1)!}{n!}$, siendo $s = |S|$, el número de jugadores que hay en la coalición S .

Definición 8:

El *Valor de Shapley* de un juego $G(J, v)$ puede interpretarse como la contribución marginal esperada de cada jugador al entrar en una coalición al azar. En efecto, el valor $v(S) - v(S \setminus i)$ es la contribución marginal efectiva de i al incorporarse a S , mientras que el factor $q(S)$ es la probabilidad de que a i le toque incorporarse precisamente a S .

Teorema 3:

Si es un juego convexo entonces el valor de Shapley pertenece al Core de v .

2.3 Los Juegos No Cooperativos. Equilibrio de Nash.

Los equilibrios de Nash se definen como la combinación de estrategias para las cuales no hay incentivo alguno para que los jugadores se desvíen de su elección. Esta será la mejor opción que un jugador puede tomar, teniendo en cuenta la decisión de los otros jugadores y donde un cambio en la decisión de un jugador sólo conducirá a un resultado peor si los otros jugadores se adhieren a su estrategia.

Uno de los equilibrios de Nash más conocidos se encuentra en el dilema del prisionero. Este concepto pertenece a la Teoría de Juegos, específicamente para los juegos no cooperativos, y toma el nombre de John Nash que lo desarrolló en el siglo XX.

Hay unos pocos requisitos de coherencia que deben tenerse en cuenta cuando se trata de equilibrios de Nash. Uno de ellos es conocido como el conocimiento común, que complementa la necesidad de información completa. Por lo tanto, las expectativas sobre las estrategias de otros jugadores deben ser racionales.

Decimos que, un equilibrio de Nash es una combinación de creencias acerca de las estrategias y las opciones del otro jugador. Es bastante fácil entender esto con un ejemplo, en este caso del dilema del prisionero, representado en la siguiente matriz de juego:

		PRISIONERO 2	
		Confesar	Mentir
PRISIONERO 1	Confesar	<u>-8</u> , <u>-8</u>	0 , -10
	Mentir	-10 , 0	<u>-1</u> , <u>-1</u>

Figura 10: El dilema del prisionero

El prisionero 1 (P1) tiene que analizar lo que el prisionero 2 (P2) va a hacer, con el fin de elegir la mejor estrategia. Si P2 confiesa (P2_C), P2 obtendrá un pago de -8 o 0, y si miente (P2_M) obtendrá -10 o -1. Se puede ver fácilmente que P2 elegirá confesar, ya que le resulta más conveniente. Por lo tanto, P1 debe elegir la mejor estrategia dado que P2 elegirá a confesar: P1 puede confesar (P1_C, con un pago de -8) o mentir (P1_M, con un pago de -10). Lo racional para P1 es confesar. Procediendo a la inversa, se analizan las creencias que P2 tiene sobre las estrategias de P1, lo que nos lleva al mismo punto: lo racional para P2 es confesar. Por lo tanto, P1_C, P2_C es el equilibrio de Nash en este juego (subrayado en rojo)

Los equilibrios Nash se pueden utilizar para predecir el resultado de juegos finitos, siempre que exista tal equilibrio. Por otra parte, el equilibrio se puede encontrar utilizando el método de eliminación de las estrategias dominadas, lo que nos ayudará a encontrar el equilibrio de Nash mediante la exclusión de equilibrios de Nash ‘irracionales’.

Sin embargo, nos encontramos con el problema que surge cuando se trata de un equilibrio de Nash que no es ni social ni ético, y donde la eficiencia puede ser subjetiva, que es el caso en el dilema del prisionero. En este juego, el equilibrio de Nash no cumple con los criterios para ser óptimo de Pareto. Además, la posibilidad de equilibrios múltiples hace que el resultado final del juego sea menos predecible.

3 APLICACIÓN DE LA TEORÍA DE JUEGOS AL COSTO DEL AGUA

3.1 Introducción

El agua es un recurso natural importante para mantener la supervivencia básica de los humanos, la producción y el desarrollo social y económico. Con el ritmo acelerado de la industrialización y el aumento de la urbanización, la seguridad de los recursos hídricos se ve amenazada y surgen crisis de recursos hídricos. Según el Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Mundial del Agua 2018, soluciones basadas en la naturaleza para el agua, la demanda mundial de recursos hídricos aumenta un 1% por año. Actualmente, aproximadamente 3.600 millones de personas viven en zonas deficientes en agua, y el número de personas que sufren deficiencias de agua puede aumentar de 4.800 millones a 5.700 millones en 2050. Al mismo tiempo, el problema cada vez más grave de la contaminación del agua agrava aún más el conflicto entre el suministro y la demanda de agua. Las principales causas de la contaminación del agua son la contaminación industrial, las actividades antropogénicas y la contaminación agrícola, que causan el deterioro del medio ambiente ecológico y los problemas de salud humana y tienen diversos grados de impacto en el desarrollo socioeconómico y el bienestar social de varios países. El agua puede transportar un bote pero también puede volcarlo (desarrollo sostenible de la sociedad humana). Los gobiernos enfrentan el desafío de restaurar y preservar los ecosistemas acuáticos de conformidad con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas (ODS 6).

En la Unión Europea (UE), la contaminación del agua, la extracción excesiva y las alteraciones hidromorfológicas han sido implicadas como las principales presiones significativas para los cuerpos de agua europeos. Actualmente, más de 700 contaminantes emergentes, sus metabolitos y productos de transformación figuran como presentes en el medio ambiente acuático europeo. Los contaminantes emergentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas o industriales se descargan directamente en ríos donde su destino ambiental es preocupante (degradación, sorción en el sedimento y transporte en la fase acuosa). La Directiva marco de la UE 2000/60 / CE (WFD) tenía como objetivo introducir una nueva era para la gestión europea del agua. Sin embargo, quince años después de la introducción de la DMA, lograr sus objetivos sigue siendo un desafío, ya que el 47% de las aguas superficiales de la UE no alcanzaron un buen estado ecológico en 2015, un objetivo central de la legislación de la UE sobre el agua. Según la Comisión, en 2011, aproximadamente 143 ciudades no tenían sistemas de alcantarillado adecuados, lo que creaba riesgos para el medio ambiente y la salud pública. En consecuencia, Italia está sometida a un procedimiento de infracción por parte de la UE de conformidad con la Directiva 271/91 de la UE. Los sistemas de alcantarillado italianos todavía están experimentando muchas fallas y no cumplen con los requisitos de la UE; Muchas aglomeraciones urbanas de más de 10.000 habitantes descargan aguas residuales sin ningún tratamiento adecuado.



Figura 11: Ejemplo de contaminación del agua

Más del 70% de las personas que carecen de saneamiento, o 1.800 millones de personas, viven en Asia. En 2013, el Ministerio de Medio Ambiente de Corea informó que más de cien empresas coreanas líderes, incluidas Samsung, Hyundai, SK y LG, habían estado descargando aguas residuales ilegalmente, lo que empeoró la situación. En China, que tiene una economía en rápido crecimiento, el agua es un recurso escaso ya que solo el 8% del agua dulce del mundo está disponible para satisfacer las necesidades del 22% de la población mundial. Sin embargo, el 33% de las aguas residuales industriales y el 70% de las aguas residuales domésticas no se tratan y se liberan directamente en ríos y lagos. Además, el 80% de las ciudades de China no tienen instalaciones de tratamiento de aguas residuales, y el suministro de agua en el 90% de las ciudades está contaminado. La degradación ambiental le cuesta a China casi el 9% de su producto interno bruto anual. Dong y col. evaluó la sostenibilidad relativa de la infraestructura hídrica de 157 ciudades en China y encontró solo 69 ciudades con alta sostenibilidad. La emisión total de aguas residuales en Beijing, Shanghai y Guangzhou, las tres ciudades más desarrolladas de China, muestra una tendencia al alza.

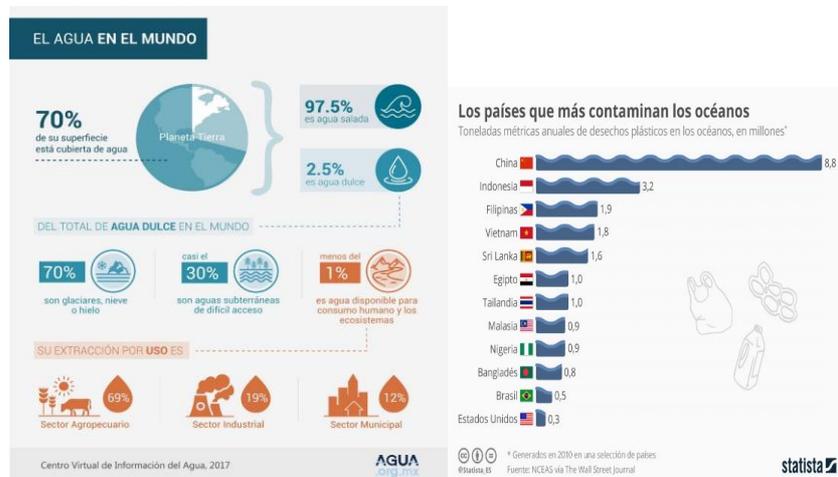


Figura 12: Distribución del agua en el planeta y top países mas contaminantes de océanos.

Ya en la Ley de Prevención y Control de la Contaminación del Agua de la República Popular de China de 2008, aquellos que descargan contaminantes del agua que exceden los estándares de emisión nacionales o locales para contaminantes del agua o que exceden los objetivos de control de emisiones totales para contaminantes clave del agua, deben pagar una multa de no menos de dos veces pero no más de cinco veces, la tarifa de emisión. Aunque el gobierno ha establecido leyes y reglamentos estrictos para restringir la emisión de aguas residuales, todavía se producen incidentes de contaminación del agua. Un ejemplo específico es la ciudad de Wuhan, la metrópoli más grande del centro de China, donde el 55% de sus 108 lagos han sido contaminados en diversos grados según la Autoridad Municipal de Aguas de Wuhan. Como

otro ejemplo de un accidente de contaminación, el 23 de abril de 2014, dos proveedores importantes de agua (obras hidráulicas Baihezui y Yushidun) en la ciudad de Wuhan detuvieron la producción aproximadamente a las 4 p.m. y 7 p.m., respectivamente, porque el agua en la sección de Wuhan del río Han contenía cantidades excesivas de amoníaco y nitrógeno, que excedían los estándares nacionales. La suspensión del suministro de agua causó escasez de agua y afectó a 300,000 personas. Primero, el gobierno establece la regulación de que las empresas serán multadas si su emisión de aguas residuales excede el estándar. Aunque el gobierno puede restringir la emisión de aguas residuales de algunas empresas, otras empresas están dispuestas a aceptar la multa y descargar aguas residuales excesivas para lograr la eficiencia. En segundo lugar, la emisión excesiva de aguas residuales de la empresa afectará directamente la salud de los residentes que viven cerca de la empresa a corto plazo, lo que conducirá a problemas sociales complejos. Finalmente, el exceso de aguas residuales no se degrada fácilmente en el entorno natural y, a largo plazo, el exceso de aguas residuales afectará el desarrollo sostenible de toda la sociedad con el aumento de las emisiones de aguas residuales. Por lo tanto, nos centramos en el problema de seleccionar una estrategia más razonable para garantizar el desarrollo social y económico y controlar razonablemente la emisión de aguas residuales.



Figura 13: Rio Han

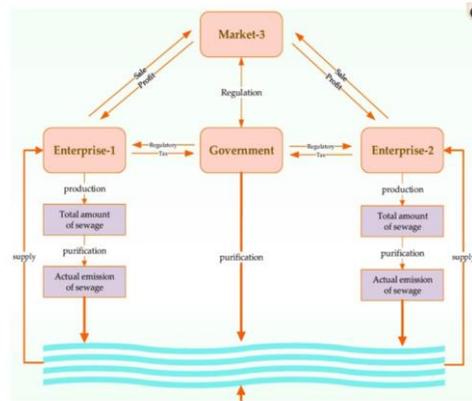
La investigación académica sobre el desarrollo sostenible de los recursos hídricos abarca una amplia gama, como la gestión integrada de los recursos hídricos, la capacidad de carga de los recursos hídricos, la eficiencia de los recursos hídricos, la calidad del agua gestión, y estrategia de asignación de recursos hídricos, etc. La asignación óptima de recursos hídricos podría determinarse mediante el método de optimización. Se han utilizado una serie de métodos de optimización para resolver la asignación de recursos hídricos. Estas técnicas son útiles para reconocer la mejor estrategia de gestión para lograr un conjunto dado de objetivos bajo diferentes restricciones. Los métodos de optimización incluyen programación lineal (LP), programación no lineal (PNL), programación dinámica (DP) y modelo de juego. Aunque la teoría de juegos requiere un mayor desarrollo en el campo de la gestión de los recursos hídricos y otros campos relacionados, la teoría de juegos es un método bien conocido utilizado para reflejar varios comportamientos importantes de las partes involucradas. En la actualidad, la mayoría de los estudiosos estudian principalmente la asignación de recursos hídricos en base a un modelo de juego. Por ejemplo, Kicsiny et al. adoptó un modelo de juego diferencial de solución discreta para distribuir los recursos hídricos disponibles con la máxima eficiencia entre los diferentes consumidores. Zanjanian y col. utilizó el Modelo Gráfico para la Resolución de Conflictos para resolver el conflicto no cuantitativo de los derechos de agua entre las partes interesadas de la organización de la represa de Ilam. Chhipi-Shrestha y col. propuso un marco de criterios múltiples y de toma de decisiones múltiples que combina el análisis de decisiones de criterios múltiples (MCDA) y la teoría de juegos para la selección de

una aplicación sostenible de reutilización del agua por parte de múltiples partes interesadas. Han y col. estableció un modelo de optimización de teoría de juegos de múltiples agentes que podría realizar la maximización de intereses comunes e intereses individuales. Davijani y col. propuso un modelo socioeconómico de dos objetivos (dirigido a la creación de empleo) para determinar la asignación óptima de los recursos hídricos a la industria, la agricultura y los sectores municipales del agua. Con base en la teoría de juegos, se han obtenido resultados extensos de investigación para la asignación de recursos hídricos, proporcionando así una base suficiente para la toma de decisiones para la asignación racional de los recursos hídricos. Dichos resultados también proporcionan la base para la hipótesis del modelo en la Sección 2 de este documento (este documento asume que según la teoría de asignación de recursos hídricos existente basada en la teoría de juegos y bajo el control del gobierno, la empresa-1 y la empresa-2 podrían obtener resultados justos, suministros de recursos hídricos suficientes, asequibles y continuos). El contenido central de la investigación de este documento es el control de la contaminación del agua.

Sin embargo, solo unos pocos estudios sobre el control de la contaminación del agua basados en modelos de juegos están disponibles. Zeng y col propuso una teoría de juegos híbridos y un modelo de programación matemática (HGT-MPM) para resolver conflictos hídricos transfronterizos en la cuenca del embalse de Guanting (GRB) utilizando Zhangjiakou y Beijing como ejemplos. Para optimizar el uso del agua y la emisión de contaminantes en las dos ciudades, se maximizaron los beneficios agregados netos de estas actividades y se redujeron los costos del suministro de agua y la eliminación de la contaminación; así, se desarrolló un modelo de asignación de agua basado tanto en la calidad como en la cantidad del agua. Magnuszewski y col. utilizó un protocolo de observación para recopilar datos sobre la calidad de las prácticas relacionales, comparó estos datos con los resultados cuantitativos de los participantes del juego e introdujo un enfoque basado en el juego para explorar los efectos de las prácticas relacionales sobre la efectividad de la gobernanza del agua.

El desarrollo sostenible de los recursos hídricos podría estudiarse desde dos aspectos: antes del uso de los recursos hídricos (asignación de recursos hídricos) y después del uso de los recursos hídricos (control de la contaminación del agua). Para ampliar aún más la aplicación de la teoría de juegos en la gestión de los recursos hídricos y proporcionar estrategias efectivas para el control de la contaminación del agua, este documento implementa el concepto de investigación de Yanase de utilizar un modelo de juego diferencial para analizar la competencia perfecta entre dos países en el mercado de un tercer país bajo los dos aspectos ambientales, políticas de regulación del impuesto al carbono y control total. Este documento propone un modelo de juego de maximización del bienestar social, establece restricciones estrictas de emisión de aguas residuales y estudia cómo dos empresas (empresa-1 y empresa-2) producen productos de la misma calidad y compiten por las ventas en el mismo mercado. Además, se examina la cuestión de cómo el gobierno puede formular una estrategia efectiva de emisión de aguas residuales. Finalmente, el equilibrio perfecto de Markov en Nash da como resultado una política de control de emisiones de aguas residuales que puede maximizar el bienestar social.

Figure 1



Schematic diagram of the whole game process.

Figura 14: Diagrama del proceso de juego

3.2 Juego no cooperativo

Una parte importante de la polución del agua viene por parte de las aguas residuales producidas por la agricultura. En esta sección se analizará el juego no cooperativo entre un gobierno central y los agricultores, y el gobierno y empresas purificadoras municipales respectivamente.

En esta situación el gobierno puede elegir o no auditar el control de la contaminación de las aguas residuales producidas por los agricultores, los agricultores eligen si tomar medidas o no sobre el tratamiento de la polución de sus aguas y por último las empresas deciden si tratar o no la contaminación del agua rural.

Legalmente, los agricultores han de cumplir con ciertos niveles de contaminación de las aguas residuales que producen. Estas exigencias vienen impuestas por parte del gobierno central. Como hemos comentado anteriormente, los agricultores pueden elegir si mejorar la emisión de residuos o no. Si deciden tomar medidas, han de pagar una cantidad de dinero a las empresas para que traten las emisiones y recibirán un incentivo donado por el gobierno. En caso contrario, si se rebasan los límites de contaminación, el gobierno impondrá una sanción económica sobre ellos, perdiendo así prestigio social que supondría una rebaja de la demanda de sus productos por parte de sus clientes. La probabilidad de inspección gubernamental a los agricultores viene representada por “p”, mientras que la probabilidad de mejora de los agricultores por la letra “q”. Por lo tanto, el agricultor ha de considerar en qué medida le conviene tratar las aguas residuales, teniendo en cuenta las posibles multas y el ahorro que les supondría no tratar los residuos, con el fin de obtener el mayor beneficio económico posible.

En el caso de las empresas municipales, estas pueden elegir o no dar cuenta al gobierno sobre el cumplimiento de los niveles de polución de las aguas rurales. El tratamiento de las aguas residuales tiene un coste, pero conlleva también a un incentivo por parte del gobierno central. Si decide no tratarlas, podrá ser sancionado, además de perder prestigio social. La probabilidad de inspección gubernamental a las empresas viene representada por “a”, mientras que la probabilidad de tratar la contaminación por la letra “b”. Por lo tanto, las empresas han de considerar en qué medida tienen que dar cuenta o no al gobierno, con el fin de obtener el mayor beneficio económico.

Y el último participante del juego es el gobierno, que mantiene relación directa con los otros dos. La inspección del gobierno para comprobar la situación de la polución de las aguas

residuales lleva un coste asociado. Pero, si elige no intervenir, perderá popularidad entre los habitantes del municipio que gobiernan.

Con el fin de estudiar más a fondo la interacción y la relación entre el gobierno, los agricultores y las empresas municipales en el control de la contaminación del agua rural, identificamos las siguientes variables:

1. J es el incentivo del gobierno para los agricultores que eligen mejorar; H es el incentivo del gobierno para las empresas municipales que eligen tratar la contaminación.
2. C_1 es el costo de inspección del gobierno para obtener información sobre los agricultores y C_2 es el costo de inspección del gobierno para obtener información sobre las empresas del municipio.
3. S_1 es el bienestar social de los agricultores para elegir mejorar; S_2 es el bienestar social de las empresas municipales que eligen tratar la contaminación del agua.
4. E_1 es una pérdida del bienestar social de los agricultores que eligen no mejorar; E_2 es una pérdida del bienestar social de las empresas del municipio que eligen no tratar la contaminación del agua.
5. D es el costo del tiempo y la pérdida de conveniencia en la vida para que los agricultores elijan mejorar. B es el costo de las empresas municipales en el tratamiento de la contaminación del agua.
6. F es la multa de los agricultores cuando se determinó que no mejoraron. La probabilidad de ser encontrado es r_1 (la probabilidad es 50%).
7. W es la multa de las empresas del municipio cuando se determina que eligen no tratar la contaminación del agua. La probabilidad de ser encontrado es r_2 (la probabilidad es 50%).
8. R es una pérdida de imagen social y reputación de las empresas del municipio.

3.2.1 Juego entre gobierno y agricultores

Se establece la matriz de juego del gobierno y los agricultores en el control de la contaminación del agua rural.

Gobierno	Agricultor	
	mejora	No mejora
Se realiza inspección	$S_1 - J - C_1, J - D$	$r_1 F - C_1 - E_1, -r_1 F$

No se realiza inspección	$S_1, -D$	$-E_1, 0$
--------------------------	-----------	-----------

Tabla 1: Juego entre gobierno y agricultores

- Si los agricultores deciden mejorar, el gobierno decide no verificar ya que, $S_1 > S_i - J - C_1$. Pero si el gobierno no verifica, los agricultores no mejoran puesto que $-D < 0$.
- Cuando los agricultores no mejoran, el gobierno decide verificar ($r_1 F > C_1$). Si los agricultores mejoran el gobierno no verifica ($S_1 > S_1 - J - C_1$).
- Cuando el gobierno decide verificar, si $J - D > -r_1 F$, los agricultores mejoran. De lo contrario eligen no mejorar

El gobierno espera ganar:

$$\mu_1 = p[q[S_1 - J - C_1] + (1 - q)(r_1 F - C_1 - E_1)] + (1 - p)[qS_1 + (1 - q)(-E_1)]$$

El máximo beneficio por parte del gobierno por consiguiente será: Derivando la ecuación anterior e igualando a cero, obtenemos el valor que tendría el beneficio máximo que podría obtener el gobierno a partir de los resultados obtenidos.

$$\frac{d\mu_1}{dp} = q(-J - r_1 F) + r_1 F - C_1 = 0$$

Solución:

$$q^* = r_1 F - \frac{C_1}{r_1 F} + J$$

La ganancia esperada por un agricultor es la siguiente:

$$\mu_2 = q[p[J - D] + (1 - p)(-D)] + (1 - q)[p(-r_1 F) + (1 - p) \cdot 0]$$

Para optimizar el beneficio esperado por el agricultor volvemos a realizar el mismo procedimiento, derivamos la ecuación anterior e igualamos a cero.

$$\frac{d\mu_2}{dq} = p(J + r_1 F) - D = 0$$

La solución es la siguiente:

$$p^* = \frac{D}{r_1 F} + J$$

(p^*, q^*) es una estrategia mixta de equilibrio de Nash en el juego del gobierno y los agricultores. Muestra que cuando la probabilidad de mejora de los agricultores es $q^* < r_1 F - \frac{C_1}{r_1 F} + J$, la estrategia óptima del gobierno es verificar; por el contrario, no se verifica la política óptima.

Cuando la probabilidad de inspección del gobierno es $p^* < \frac{D}{r_1 F} + J$, la estrategia óptima del agricultor es no mejorar; por el contrario, la estrategia óptima es mejorar.

3.2.2 Juego entre gobierno y las empresas municipales

Se establece la matriz de juego de las empresas gubernamentales y municipales en el control de la contaminación del agua rural.

Gobierno	Empresa municipal	
	Trata las aguas	No trata las aguas
Se realiza inspección	$S_2 - C_2 - H, H - B$	$r_2 W - C_2 - E_2, -r_2 F$
No se realiza inspección	$S_2, -B$	$-E_2, 0$

Tabla 2: Juego entre empresa municipal y gobierno

- Cuando las empresas eligen tratar las aguas, el gobierno decide no inspeccionar ya que $S_2 > S_2 - H - C_2$. Cuando el gobierno no verifica, la empresa no trata las aguas ($-B < 0$).
- Cuando el gobierno verifica, si $H - B > -r_2 W - R$, las empresas municipales tratan las aguas. De lo contrario, las empresas eligen no tratarlas. Si cumplen $r_2 W > C_2$, el juego de ambas partes puede obtener una estrategia pura de equilibrio de Nash (inspección, no gobierno).

El retorno esperado del gobierno es:

$$\mu_3 = \alpha[\beta(S_2 - C_2 - H) + (1 - \beta)(r_2 W - C_2 - E_2)] + (1 - \alpha)[\beta S_2 + (1 - \beta)(-E_2)]$$

La primera condición para obtener el beneficio gubernamental es:

$$\frac{d\mu_3}{d\alpha} = \beta(-r_2 W - H) + r_2 W - C_2 = 0$$

El beneficio gubernamental máximo que se puede esperar es:

$$\beta^* = r_2 W - \frac{C_2}{r_2 W} + H$$

El retorno esperado de las empresas es:

$$\mu_4 = \beta[\alpha(H - B) + (1 - \alpha)(-B)] + (1 - \beta)[\alpha(-r_2W - R) + (1 - \alpha) \cdot 0]$$

La primera condición de beneficio óptimo es:

$$\frac{d\mu_4}{d\beta} = \alpha(r_2W + H + R) - B = 0$$

y la solución es:

$$\alpha^* = \frac{B}{r_2W} + H + R$$

(β^*, α^*) es una estrategia mixta en el juego de equilibrio de Nash entre el gobierno y las empresas municipales. Se muestra que cuando la probabilidad de implicación de una empresa es $\beta^* < r_2W - \frac{C_2}{r_2W} + H$, la estrategia óptima de gobierno es inspeccionar, pero la estrategia política es lo contrario. Igualmente, cuando la probabilidad de inspección es $\alpha^* < \frac{B}{r_2W} + H + R$, la estrategia óptima de la empresa es no gobernar; por el contrario, la estrategia política es hacerlo.

3.3 Resolución de sistema ficticio

En esta sección, resolveremos el problema del juego no cooperativo, anteriormente descrito, entre un gobierno central, agricultores y empresas municipales para un caso específico. En este caso, contaremos con un gobierno central, 2 empresas y 3 agricultores.

El conflicto se centra en la localidad sevillana de Castilblanco de los Arroyos, el gobierno central será por tanto el ayuntamiento de dicho municipio. Las empresas que participan en el juego se llaman Trivera y 7 Arroyos respectivamente y los agricultores que intervienen se conocen como A1, A2 y A3. Cada agricultor tiene un tipo de cultivo.

- A1: Cultivo dedicado
- A2: % de terreno de cultivo dedicado y el % restante a cultivo no dedicado
- A3: Cultivo no dedicado

Para el caso en el que participa más de un agricultor, la probabilidad de inspección gubernamental a los agricultores, “p”, tiene la siguiente expresión:

$$p = c_1 \times p_1 + \dots + c_i \times p_i + \dots + c_n \times p_n \quad ; \text{ donde:}$$

- n: número de agricultores.
- c_i : propiedad de terreno que tiene el agricultor i.
- p_i : probabilidad de inspección gubernamental a agricultor i.

De la misma forma, si participa más de una empresa, la probabilidad de tratar la contaminación del agua por parte de las empresas municipales, “b”, tiene la siguiente expresión:

$b = d_1 \times b_1 + \dots + d_i \times b_i + \dots + d_m \times b_m$; donde:

- m: número de empresas.
- d_i : proporción de clientes de la empresa i.
- b_i : probabilidad de tratar la contaminación del agua por parte de la empresa i.

Particularizando para nuestro caso, tenemos que:

$$p = c_1 \times p_1 + c_2 \times p_2 + c_3 \times p_3 \quad \text{y} \quad b = d_1 \times b_1 + d_2 \times b_2$$

A continuación, se aportan todos los datos necesarios para la resolución:

- $c_1 = \frac{1}{5}$, $c_2 = \frac{1}{3}$, $c_3 = \frac{1}{8}$; $p_1 = 0.4$, $p_2 = 0.5$, $p_3 = 0.7$
- $d_1 = \frac{1}{3}$, $d_2 = \frac{2}{3}$; $b_1 = 0.6$, $b_2 = 0.7$
- J=20.000 € y H=500.000 €
- C1=1.000.000 € y = 1.000.000 €
- S1=40.000 € y S2=1.500.000 €
- La pérdida de bienestar social E1 supone un 40% de las ventas, es decir, 16.000 € y E2 un 30%, es decir, 450.000 €
- D=8.000 € y B=125.000 €
- F=100.000 € y W= 800.000 €
- La pérdida de imagen y reputación social de las empresas sería de un 25% es decir, 375.000 €
- r1=0.5 y r2=0.5

Aplicando las ecuaciones escritas en el apartado juego entre gobierno y agricultores y juego entre gobierno y empresas, llegamos a la solución de nuestro sistema ficticio:

- Solución $(p^*, q^*) = (20002, 65995)$.
- Solución $(\beta^*, \alpha^*) = (1.300.000, 875.000)$

Estos son los equilibrios si juegan, es decir la solución del problema si todos participan con honradez en el juego.

3.4 Conclusión

El control de la contaminación del agua rural es un proyecto complejo, que involucra los intereses del gobierno, empresas municipales y agricultores. En el proceso de control de la contaminación del agua en zonas rurales, debe haber un juego entre las partes interesadas con el fin de coordinar los intereses de cada uno. En este juego, no existe un equilibrio único, pero si todos juegan con honradez el beneficio es notable para los tres participantes. Concluimos entonces que lo mejor es que todos hagan bien la tarea de cuidar de que el uso que hacen del agua sea convenientemente depurado y librado, en la medida de lo posible de la polución.

Es cierto, por otro lado, que si los agricultores y las empresas hacen caso omiso a las recomendaciones pueden ganar algo más, el problema es que si son denunciados el coste de la multa y la pérdida de imagen sería un montante demasiado elevado para sus intereses. Recomendamos que el gobierno central del juego establezca un sistema de inspección que permita evaluar al menos al 90% de los participantes en el juego.

4 EPIDEMIA DE GRIPE AVIAR

4.1 Introducción

Una enfermedad zoonótica es una enfermedad que puede transmitirse entre animales y seres humanos. Las enfermedades zoonóticas pueden ser provocadas por virus, bacterias, parásitos y hongos. Algunas de esas enfermedades son muy frecuentes. En el caso de las enfermedades zoonóticas causadas por parásitos, los tipos de síntomas y signos pueden variar según el parásito y la persona. A veces, las personas con infecciones zoonóticas pueden enfermarse mucho, mientras que otras personas no tienen síntomas y no se enferman jamás. Otras personas pueden tener síntomas como diarrea, dolor muscular y fiebre.

Los alimentos pueden ser una fuente de algunas infecciones zoonóticas cuando los animales como vacas y cerdos tienen una infección por parásitos como *Cryptosporidium* o *Trichinella*. Las personas pueden contraer criptosporidiosis si accidentalmente tragan comida o agua contaminada con las heces de animales infectados. Por ejemplo, eso puede suceder cuando los huertos o las fuentes de agua están cerca de tierras de pastoreo para ganado vacuno y las personas pueden contraer triquinosis al ingerir carne que no está bien cocida o carne cruda de oso, jabalí o cerdos domésticos con infección por el parásito *Trichinella*.

Las mascotas pueden tener parásitos y contagiárselos a las personas. Algunos parásitos de los perros y los gatos pueden infectar a las personas. Los animales jóvenes, como cachorros y gatitos, tienen más probabilidades de presentar infección por gusanos cilíndricos y anquilostomas.

Los animales salvajes también pueden tener infección por parásitos que pueden infectar a las personas. Por ejemplo, las personas pueden infectarse por el parásito del mapache *Baylisascaris* si accidentalmente ingieren suelo contaminado con las heces de un mapache infectado.

Las enfermedades animales se han convertido en un problema cada vez mayor, en particular si pueden propagarse a nivel internacional o transmitirse de los animales a los seres humanos (enfermedades zoonóticas), ya que son enfermedades altamente contagiosas. No solo causan la muerte de los animales y amenazan la salud pública, sino que además tienen graves consecuencias socioeconómicas al limitar el comercio de animales, de alimentos de origen animal y de material genético animal, y restringir su crianza. Ello afecta directamente a la seguridad alimentaria, en especial en los entornos rurales.

La globalización, la invasión de tierras y el cambio climático favorecen la aparición de brotes de dichas enfermedades animales como la brucelosis, la tuberculosis bovina, enfermedades parasitarias, el carbunco bacteriano, la encefalopatía espongiiforme bovina y algunas cepas del virus de la influenza, lo que agrava aún más el problema.

4.2 Respuesta a la amenaza de una pandemia de gripe aviar

En esta sección se exponen las actividades que pueden emprender los países, la comunidad internacional y la OMS para preparar al mundo con miras a la próxima pandemia de gripe y mitigar sus repercusiones cuando empiece a extenderse a nivel internacional. Las actividades recomendadas son específicas para la amenaza que plantea la incesante propagación del virus H5N1. Dirigido a las instancias normativas, se abordan también algunos aspectos que pueden

orientar la adopción de decisiones de política en una situación que se caracterizará tanto por la urgencia como por la incertidumbre. Las recomendaciones formuladas tienen carácter escalonado, con distintos niveles de alerta y las correspondientes actividades en función de los indicadores epidemiológicos de aumento de la amenaza.

Antecedentes

A lo largo de la historia las pandemias de gripe han asolado el planeta por sorpresa, sin que los servicios de salud tuvieran apenas tiempo para prepararse para afrontar el aumento súbito de casos y defunciones que se producen en esas circunstancias. Las tres pandemias del siglo pasado provocaron profundos trastornos sociales y económicos, además de la pérdida de numerosas vidas. La situación actual es distinta por varias razones. En primer lugar, el mundo está sobre aviso. Hemos visto cómo cobraban forma las condiciones favorables a una nueva pandemia en Asia. Aunque no es posible prever ni el momento ni la gravedad de la próxima pandemia, sabemos que el virus es ya endémico en algunas poblaciones de aves, que significa que el nivel de riesgo no podrá reducirse fácilmente.

En segundo lugar, esta alerta anticipada brinda una oportunidad sin precedentes para prepararse con miras a la pandemia e idear medidas para paliar sus efectos. Las principales actividades de los países se han centrado en la preparación y ensayo de planes de respuesta, desarrollo de vacunas y suministro de medicamentos antivirales. El problema que aparece es que hay una gran diferencia entre los países ricos y los pobres en cuanto a la preparación para una pandemia, aquellos países donde el virus es ya endémico y donde más probable es la aparición del virus pandémico, están muy a la zaga.

Las pandemias son un fenómeno extraordinario por cuanto afectan a todo el planeta, independientemente de las condiciones socioeconómicas o del nivel de atención sanitaria, higiene y saneamiento. Una vez que haya comenzado la propagación internacional, cada gobierno, lógicamente, hará de la protección de su propia población la prioridad absoluta. La mejor oportunidad de colaboración internacional - en interés de todos los países - es la que se presenta ahora, antes de que se declare la pandemia.

Evaluación de la situación

1. El riesgo de pandemia es elevado: Se siguen registrando casos humanos, brindando así al virus otra ocasión para mutar y transformarse en un virus altamente transmisible.
2. El riesgo persistirá: Los datos disponibles muestran que el virus H5N1 es endémico en algunas zonas de Asia, habiendo establecido su nicho ecológico en las aves de corral. Los brotes se han reproducido pese a las medidas adoptadas y existe un gran número de aves domésticas y salvajes que portan el virus, dificultando así el control de este.
3. No es posible prever como evolucionaría la amenaza: Debido a las continuas transformaciones de los virus de la gripe, no es posible prever ni el momento ni la gravedad de la pandemia. La transmisibilidad entre personas, puede tener lugar por dos mecanismos: un fenómeno de redistribución, intercambio de material genético entre el virus humano y el virus aviar, y un proceso de mutación adaptativa. La redistribución puede desembocar en un virus pandémico plenamente transmisible y las mutaciones nos concederán probablemente algún tiempo para tomar medidas defensivas.
4. El sistema de alerta anticipada es deficiente: Los países más expuestos cuentan con unos sistemas de información epidemiológicos y unos medios sanitarios, veterinarios y de laboratorio precarios. El principal problema se halla en las zonas rurales de estos países, donde es muy complicado controlar la extensión del virus.

5. Las intervenciones preventivas son posibles, pero no se han ensayado: Si empezara a surgir un virus pandémico, mediante la mutación adaptativa, una intervención con fármacos antivirales y otros medicamentos de salud pública podría prevenir la transmisibilidad, evitando la propagación internacional. Pero esta estrategia no se ha ensayado nunca.
6. La insuficiencia de suministros médicos dificultará la reducción de la morbilidad y la mortalidad durante la pandemia.

Paralelamente a la evolución de la actual situación hacia una pandemia, los países, la comunidad internacional y la OMS pueden intervenir en varias fases: desde una situación de prepandemia, pasando por la aparición de un virus pandémico, hasta la declaración de la pandemia y la subsiguiente propagación.

Objetivos

Los objetivos de las medidas estratégicas se corresponden con las oportunidades principales de intervención y con las fases consideradas:

Fase prepandemia:

1. Reducir las oportunidades de infección humana.
2. Reforzar el sistema de alerta anticipada.

Fase: aparición de un virus pandémico.

3. Contener o retrasar la propagación en su origen.

Fase: pandemia declarada y propagación internacional

4. Reducir la morbilidad, la mortalidad y los trastornos sociales
5. Realizar investigaciones para orientar las medidas de respuesta

1. Reducir las oportunidades de infección humana.

El riesgo de que aparezca un virus pandémico dependerá de las oportunidades de exposición e infección humana. Esas ocasiones persistirán mientras el virus H5N1 siga circulando entre los animales. El control de la enfermedad en los animales es la principal opción para reducir las oportunidades de infección del hombre, y por tanto para reducir el riesgo de aparición de un virus pandémico. Una segunda opción es la prevención de los comportamientos que llevan a las personas a exponerse al virus.

El comportamiento del virus H5N1 en los animales es imprevisible, esto unido a que los patos domésticos pueden contener el virus sin mostrar signos clínicos y que abundantes aves salvajes portan el virus también hace muy complicado el control del virus. Pese a estas dificultades, el control de la enfermedad en las aves de corral es la gran prioridad.

Como la gran mayoría de los casos humanos se han producido en zonas rurales, el asesoramiento a los granjeros y a sus familias sobre la manera de evitar la exposición es una segunda alternativa para reducir el riesgo de aparición de un virus pandémico. Pero esta opción también es ahora más difícil: el hecho de que los patos domésticos puedan actuar de reservorio «silente» ha eliminado la señal de advertencia del riesgo.

Y además, los brotes pueden ser silentes porque la falta de recursos para indemnizar a los agricultores los desincentiva para notificar nuevos brotes.

Medidas estratégicas

- **Apoyar la estrategia de control de la FAO y el OIE:** Se proponen medidas claras y factibles para los diferentes países y situaciones dentro de los países. Se recomienda la vacunación como una medida de control. Otras medidas expuestas en la estrategia son una estricta bioseguridad en las granjas comerciales, el recurso a la compartimentación y la zonificación, el control de los movimientos de los animales y productos, y la reestructuración de la industria agrícola en algunos países. Con el fin de mejorar la seguridad del comercio internacional de las aves de corral, el OIE aprobó nuevas normas. Estas nuevas normas abarcan los métodos de vigilancia, la notificación internacional obligatoria de las cepas de alta y baja patogenicidad del virus de la gripe aviar, el uso de la vacunación y la inocuidad de los productos avícolas
- **Intensificar la colaboración entre los sectores de la salud animal y la salud humana:** La OMS designará personal dedicado especialmente a mejorar el actual intercambio de información entre los sectores agrícola y sanitario a nivel internacional. La OMS subraya la necesidad de controlar la enfermedad en zonas rurales, acompañada de actividades de comunicación de los riesgos de los granjeros y las familias. Se ha establecido un sistema mundial de alerta anticipada y respuesta (GLEWS) para las enfermedades transfronterizas de los animales. El sistema formaliza el intercambio de información epidemiológica y proporciona el marco operacional necesario para las misiones de campo conjuntas a las zonas afectadas.
- **Reforzar la comunicación de riesgos a la población rural:** La OMS ampliará los conocimientos sobre las relaciones entre la enfermedad animal, los comportamientos humanos y el riesgo de adquirir la infección por H5N1. Esa información será la base de la comunicación del riesgo a la población rural.
- **Mejorar las estrategias de detección ambiental de los virus:** La OMS, la FAO y el OIE, facilitarán el rápido desarrollo de nuevos métodos de detección del virus en muestras ambientales con el objetivo de profundizar en el conocimiento de las condiciones que aumentan el riesgo de infección humana y favorecen por tanto la aparición de un virus pandémico.

2. Reforzar el sistema de alerta anticipada

Los acontecimientos que vienen sucediéndose ha desencadenado una alerta general sobre la inminencia de una pandemia. Si esa alerta se concreta lo bastante para que puedan refinarse las medidas nacionales e internacionales, la vigilancia y la notificación deberían mejorar en los países afectados. La detección e interpretación de los cambios de comportamiento del virus, las investigaciones de los distintos grupos de casos, los estudios serológicos realizados en los contactos directos de los pacientes, la información sobre la evaluación clínica de los casos y el correcto desarrollo de una vacuna son medidas indispensables para conocer la futura evolución del virus.

Medidas estratégicas

- **Mejorar la detección de los casos humanos:** La OMS aportará la formación, los reactivos diagnósticos y el apoyo administrativo requeridos para la verificación externa con que se pretende acelerar la detección de casos y hacerla más fiable. Debido a su alta patogenicidad, el virus H5N1 sólo puede ser manejado sin riesgos por personal especialmente capacitado para ello y en unos laboratorios especialmente equipados. Pero la mayoría de países no disponen de estas instalaciones. Una alternativa es mejorar la capacidad de laboratorio reforzando el sistema vigente de centros nacionales de la gripe o proveyendo laboratorios móviles de alto nivel de confinamiento. Posibles actividades de apoyo son el adiestramiento en los métodos de laboratorio que exige el diagnóstico del virus H5N1, la distribución de reactivos de diagnóstico actualizados, y la coordinación de los trabajos entre los laboratorios y las instituciones epidemiológicas nacionales. También, es necesario desarrollar una infraestructura que complemente los análisis nacionales con procedimientos rápidos de verificación internacional.
- **Combinar la detección de nuevos brotes en animales y la búsqueda activa de casos humanos:** La OMS velará por que cuando se detecten nuevos brotes de H5N1 en las aves de corral se emprenda paralelamente una búsqueda activa de casos humanos.
- **Apoyar las investigaciones epidemiológicas:** Es necesario investigar exhaustivamente los casos humanos esporádicos y los grupos de casos. Estas investigaciones se están usando para actividades de formación de los equipos nacionales y directrices para la investigación de los brotes. Para investigar rápidamente los brotes in situ se pueden desplegar equipos integrados por miembros de las instituciones representadas en la Red Mundial de Alerta y Respuesta ante Brotes Epidémicos (GOARN) de la OMS.
- **Coordinar las investigaciones clínicas en Asia:** Es necesario reunir datos clínicos sobre los casos humanos y compararlos a fin de elucidar los modos de transmisión, identificar los grupos vulnerables y mejorar los tratamientos. Se ha creado una red de hospitales para la vigilancia de la gripe, dedicada a la investigación clínica de la enfermedad humana.
- **Reforzar la evaluación de riesgos:** Es necesario reforzar las actividades diarias de la OMS a fin de garantizar la recogida y verificación de la información epidemiológica y virológica para evaluar los riesgos. La labor de la red OMS de laboratorios puede mejorarse introduciendo por ejemplo una base de datos genéticos, y estrechando la colaboración con las redes de laboratorios veterinarios para garantizar que los virus, tanto de los animales como del hombre, estén sometidos a una constante vigilancia.
- **Reforzar los centros nacionales de la gripe en toda la región de riesgo:** El suministro de apoyo adicional, sobre todo en forma de reactivos diagnósticos, contribuiría a reforzar el sistema de alerta anticipada en los países de riesgo y sus vecinos.
- **Ofrecer a los países vulnerables un incentivo para colaborar a nivel internacional.**

3. Contener o retrasar la propagación en su origen.

En varias reuniones consultivas internacionales, se ha pedido a la OMS que estudie la posibilidad de establecer una reserva internacional de antivirales para su uso estratégico en cuanto comience la pandemia. Diversos expertos han sugerido que el uso profiláctico de fármacos antivirales podría contener la pandemia en su origen. Esta

estrategia unida a la cuarentena de zonas podría funcionar. El éxito de una intervención de esta naturaleza depende de que se cumplan varias hipótesis: 1) los primeros virus no son altamente transmisibles. 2) esos virus aparecen en zonas geográficas limitadas. 3) los primeros casos humanos se detectan y se notifican. 4) puesta a disposición de antivirales. 5) entrada y salida de personas en las zonas afectadas estará restringida.

Medidas estratégicas

- **Crear una reserva internacional de antivirales:** La OMS establecerá una reserva internacional de antivirales para responder rápidamente cuando se declare la pandemia. La idea de la reserva es una opción estratégica válida tanto para los intereses de la comunidad internacional como para los de las poblaciones inicialmente afectadas. Entre los aspectos que habrá que abordar cabe citar la logística del despliegue y administración, y la autorización de la comercialización de los fármacos en cada uno de los países. Esta alternativa es asimismo la mejor garantía de que las poblaciones inicialmente afectadas tendrán acceso a los medicamentos necesarios para su tratamiento. Si la contención temprana no logra frenar por completo la propagación del virus, todo retraso de la propagación internacional a gran escala permitiría ganar tiempo para reforzar la preparación.
- **Establecer mecanismos de suministro masivo de medicamentos antivirales:** La OMS ideará y ensayará mecanismos de suministro de antivirales en colaboración con las autoridades sanitarias y la industria nacionales. Se harán estudios para evaluar las tasas de cobertura alcanzables, teniendo en cuenta las tasas de observancia del tratamiento, y determinar la manera de respaldar esa intervención con otras medidas, como la cuarentena zonal.
- **Vigilar la sensibilidad a los antivirales:** La OMS establecerá un programa de vigilancia para la realización de pruebas de sensibilidad a los antivirales. Es posible coordinar las actividades de los centros colaboradores de la OMS para la gripe y de los laboratorios de referencia para el análisis del virus H5N1 a fin de incluir entre sus cometidos las pruebas de sensibilidad a los antivirales.

4. Reducir la morbilidad, mortalidad y los trastornos sociales.

Las vacunas y los antivirales constituyen las dos intervenciones médicas más importantes para reducir la morbilidad y la mortalidad durante una pandemia, pero ninguna de esas armas estará disponible en cantidades suficientes. Si bien no es posible prever ni el momento ni la gravedad de la próxima pandemia, la historia demuestra que en estos casos se produce un incremento repentino del número de casos y defunciones, de tal magnitud que los servicios públicos y la maquinaria económica quedan paralizados temporalmente. Los gobiernos han de estar preparados para reconvertir los servicios de urgencia, UCIs y morgues para poder absorber el aumento súbito de demanda. Otra consecuencia será el absentismo que afectará a todos los sectores de la población activa. Una vez declarada la pandemia, los dirigentes políticos se verán sometidos a grandes presiones para proteger a sus ciudadanos. Por añadidura, los países deben garantizar que esté en vigor la legislación necesaria para que las autoridades puedan implantar medidas extraordinarias y vigilar su cumplimiento.

Medidas estratégicas

- **Vigilar la evolución de la pandemia en tiempo real:** La OMS, con la ayuda de redes virtuales de expertos, vigilará la evolución del comportamiento epidemiológico y clínico del nuevo virus en tiempo real. Esa vigilancia proporcionará a las autoridades sanitarias respuestas para interrogantes clave acerca de los grupos de edad con mayor riesgo, la infectividad del virus, la gravedad de la enfermedad, las tasas de incidencia locales, el riesgo para el personal de salud y las tasas de mortalidad.
- **Aplicar intervenciones no farmacológicas:** Las respuestas a esos interrogantes ayudarán a las autoridades a seleccionar las medidas - cierre de escuelas, cuarentena, prohibición de las grandes concentraciones de personas, restricciones en los viajes - más adaptadas al comportamiento del virus, y más idóneas por tanto para reducir el número de casos.
- **Usar los antivirales para proteger a los grupos prioritarios:** La OMS recomienda que los países que cuentan con recursos suficientes inviertan en una reserva de antivirales para uso interno, para proteger a los grupos prioritarios, como los trabajadores que actúan en primera línea.
- **Aumentar el suministro de vacunas:** La OMS, en colaboración con la industria y con los organismos de reglamentación, ha establecido procedimientos acelerados para el desarrollo y la autorización de comercialización de una vacuna contra un virus pandémico.
- **Garantizar un acceso equitativo a las vacunas:** La OMS debe poner en marcha con carácter urgente un proceso político de búsqueda de alternativas para aumentar radicalmente la capacidad de producción y garantizar que las vacunas sean asequibles y accesibles para el mundo en desarrollo, y la Organización colaborará con los organismos donantes para tratar esta cuestión.
- **Comunicar los riesgos al público:** Tan pronto como se declare la pandemia, las autoridades sanitarias deberán poner en marcha un procedimiento para informar continuamente de los riesgos al público. Habrá que abordar cuestiones como la propagación inevitable a todos los países, la escasez de vacunas y antivirales, o la justificación de la selección de grupos prioritarios para la protección. Una comunicación eficaz de los riesgos, podría contribuir a mitigar algunos de los trastornos sociales y económicos que provoca la preocupación de la población.

5. Realizar investigaciones para orientar las medidas de respuesta

- **Evaluar las características epidemiológicas de la pandemia emergente:** Al principio de la pandemia las instancias normativas necesitarán de inmediato datos epidemiológicos sobre los grupos de edad más afectados, los modos de transmisión y la patogenicidad. Tales datos fundamentarán las decisiones más urgentes sobre los grupos destinatarios de la vacunación y los antivirales. La OMS señalará los centros epidemiológicos que deban ocuparse de reunir esos datos y establecerá protocolos de investigación normalizados.
- **Vigilar la eficacia de las intervenciones sanitarias:** Se han recomendado varias intervenciones no farmacológicas para reducir la propagación local e internacional de la pandemia y reducir la tasa de transmisión. Se necesita información sobre su viabilidad, eficacia y aceptabilidad por la población. La

OMS establecerá sitios y protocolos de estudio para evaluar esas intervenciones a nivel local, nacional e internacional.

- **Evaluar las repercusiones sanitarias y económicas:** La OMS establecerá sitios de estudio y desarrollará protocolos para evaluar prospectivamente el impacto sanitario y económico de la pandemia a fin de adaptar en consecuencia las futuras intervenciones sanitarias.

Estrategia para mejorar la preparación nacional

- **Ayudar a los países en desarrollo a planificar la fabricación de sus propias vacunas:** La OMS coordinará el suministro de asesoramiento especializado internacional, para respaldar esos esfuerzos nacionales. Se creará un grupo de trabajo de la OMS para asesorar de forma directa a los gobiernos en consonancia con las necesidades, las prioridades y los medios nacionales. Entre las tareas del grupo de trabajo figurarán la evaluación de las posibilidades de transferir tecnología de fabricación a los países en desarrollo y el desarrollo de proyectos piloto.
- **Apoyar la planificación de la preparación nacional para la pandemia:** Un instrumento regional o mundial que permita evaluar el grado real de preparación en países concretos y detectar los puntos débiles a subsanar podría coordinar el apoyo bilateral y multilateral prestado para mejorar la preparación en los países en desarrollo.
- **Idear modelos de simulación de la respuesta a la pandemia:** La OMS recomienda que se cree un grupo de expertos con experiencia en el ámbito para desarrollar modelos de ensayos teóricos para simular planes de respuesta a la pandemia que los países puedan compartir.

Estrategias para acelerar el desarrollo de una vacuna pandémica

1. Reducir el intervalo entre la aparición del virus pandémico y el comienzo de la producción comercial
 - **Desarrollar normas mundiales para asegurar la calidad, seguridad y eficacia de las vacunas antigripales:** Las normas de la OMS proporcionan a los organismos de reglamentación nacionales y a los fabricantes criterios internacionales para garantizar la calidad, seguridad y eficacia de las vacunas. Se necesitan reactivos de referencia internacional, suministrados por conducto de la OMS, para evaluar las normas regionales, nacionales y de fabricación.
 - **Resolver cuestiones pendientes en relación con los laboratorios y la seguridad:** La OMS ha señalado varios problemas técnicos y normativos, entre ellos, las especificaciones para las pruebas aceleradas para la determinación de la seguridad de las vacunas experimentales. La OMS reunirá a instancias reguladoras, diseñadores de vacunas y fabricantes para llegar a un consenso respecto a estas cuestiones.
 - **Armonizar los mecanismos de regulación de la autorización de vacunas contra la gripe pandémica:** La OMS puede facilitar las conversaciones entre los organismos de reglamentación para que se elaboren procedimientos armonizados de registro de vacunas.

- **Abordar los aspectos relacionados con la seguridad del uso de la vacuna:** Para detectar los problemas de seguridad se requerirán investigaciones rápidas, que pueden ser coordinadas por la OMS en los diversos países usando bases de datos poblacionales.
- **Apoyar las estrategias de producción que ahorren antígeno:** Las estrategias que permitan fabricar vacunas eficaces usando menos antígeno se traducirán en un aumento sustancial de la capacidad de fabricación.

2. Aumentar el suministro de vacunas antigripales

- **Buscar alternativas para acortar la distancia entre la actual capacidad de fabricación de vacunas y la demanda previsible en caso de pandemia:** Existen varias líneas de investigación, entre ellas posibles estrategias de ahorro de antígeno, mecanismos de transferencia de tecnología, y desarrollo de vacunas recombinantes o preparadas en cultivos celulares.
- **Implicar a los fabricantes de vacunas de todos los países.**
- **Apoyar las actividades de los países en desarrollo, en particular mediante iniciativas de transferencia de tecnología, para el desarrollo y producción de vacunas:** Se necesita urgentemente ese tipo de apoyo para los países de alto riesgo, en particular Tailandia y Viet Nam, que están desarrollando vacunas antigripales o estableciendo instalaciones de fabricación de ese tipo de vacunas.
- **Fomentar el uso de las vacunas antigripales estacionales en los grupos de alto riesgo, de acuerdo con las metas de la OMS (cobertura del 50% en 2006, y del 75% en 2010):** Este objetivo exige un liderazgo mundial para la evaluación y comunicación de los progresos de la cobertura antigripal en los países con políticas nacionales de vacunación contra la gripe, y en los grupos vulnerables en los demás casos. Otras actividades son por ejemplo la formulación de recomendaciones para ampliar la cobertura vacunal en los grupos destinatarios y el apoyo a la aplicación de programas nacionales de vacunación.



Figura 15: Afectación de virus H5N1 en las aves de corral

4.3 Estrategia de acción

Un virus toma el control de la maquinaria biomolecular de una bacteria para fabricar proteínas para su propia reproducción. Sin embargo, las proteínas fabricadas se difunden dentro de la célula y esto evita que un virus individual tenga acceso exclusivo a sus propios productos génicos. Esto crea una situación de conflicto cada vez que varios virus infectan un solo host.

Suponga que hay dos tipos de virus en una célula. Los virus de tipo i siendo $i = 1, 2$, hacen que la célula infectada produzca π_i unidades de proteína por virus (por unidad de tiempo). Cuando hay P unidades de proteína, los virus de tipo i ensamblan nuevos virus $a_i \cdot P$ (por unidad de tiempo por virus). Es razonable suponer que a_i y π_i están negativamente correlacionados.

Suponemos que existen algunos límites naturales, a_{min} y a_{max} , para la velocidad de ensamblaje a . Esto produce la siguiente ecuación para la concentración de proteína

$$\frac{dP}{dt} = \pi_1 \cdot c_1 - a_1 \cdot P \cdot c_1 + \pi_2 \cdot c_2 - a_2 \cdot P \cdot c_2$$

donde c_i es la concentración del virus de tipo i en la célula (tenga en cuenta que se supone que los virus producidos van e infectan otras células en lugar de permanecer en la infectada originalmente). Cuando $c_2 = 0$ o $c_1 = 0$ (es decir, si solo hay un tipo de virus presente), vemos que cuando la situación se estabiliza, los virus de tipo 1 producen exactamente $\pi_1 c_1$ y los virus de tipo 2 exactamente $\pi_2 c_2$ por unidad de tiempo, es decir, π_1 o π_2 pueden ser visto como una medida de aptitud física. Cuando ambos tipos de virus están presentes, se producirá un número total de virus $\pi_1 c_1 + \pi_2 c_2$ por unidad de tiempo, de los cuales $a_i \cdot c_i$ será del tipo i .

Si $a_1 > a_2$ se dice que el virus 1 supera al virus 2 (1)

De (1) se deduce que cualquier población de virus que no tenga la tasa de ensamblaje máxima "a" es vulnerable a la invasión por mutantes "defectuosos" que tienen una "a" mayor (y por correlación negativa, una π más baja). Esto significa que la estrategia ESS del virus es tener una tasa de ensamblaje máxima a_{max} (y la tasa mínima de producción de proteínas π).

La interacción de los fagos como un dilema del prisionero. Dentro de cada célula, los virus generan productos y utilizan los productos de ellos mismos y de otros. Si un individuo produce y usa productos, puede denominarse cooperador. Si un individuo se concentra únicamente en el uso de productos, puede denominarse un desertor (tales desertores son aquellos que han perdido la mayoría de sus secuencias de codificación de proteínas). Si tal individuo está dentro de una celda con muchos que están generando productos, puede obtener una ventaja significativa. Cuando el nivel de infección es bajo, el virus puede estar solo en una célula, y es importante poder generar y utilizar productos, por lo que los cooperadores prosperarán con bajas cargas de virus. Si la carga de virus aumenta repentinamente, inicialmente habrá cooperadores; Cuando aparecen los desertores, deben extenderse rápidamente a través de la población, pero una vez que son demasiado frecuentes, la producción de productos se seca y los virus no pueden reproducirse.

Observamos que los ejercicios se escalan de modo que la aptitud básica de 1 es para Φ_6 frente a una población de su propio tipo. También vemos que Φ_{H2} es capaz de sobrevivir en una población de su propio tipo, pero está menos en forma que la población Φ_6 . Por lo tanto, usando los cuatro términos clásicos para las recompensas del dilema del prisionero R, S, T y P tenemos los valores $R = 1, S = 0.65, T = 1.99$ y $P = 0.83$ para que $T > R > P > S$ como necesario.

$$\begin{matrix} & \Phi 6 & \Phi H 2 \\ \Phi 6 & \left(\begin{matrix} 1 & 0.65 \\ 1.99 & 0.83 \end{matrix} \right) \\ \Phi H 2 & \end{matrix}$$



Figura 16: Ejemplos de virus

4.4 Conclusión

Según la matriz si actúa el virus $\Phi 6$ en primer lugar y luego aparece una mutación de este, el primero fabrica cápsulas para el segundo el cual puede reproducirse para infectar las células. El pago recibido por el dos es 1. Pero si el que actúa en segundo lugar es $\Phi H 2$, el virus $\Phi 6$ pierde efectividad, 0.65, ya que los envoltorios o cápsulas fabricados por el primero son muy adecuadas para el segundo y este se reproduce muy bien.

Por otro lado, si el primero en entrar es $\Phi H 2$, las cápsulas que fabrica para $\Phi 6$ son poco adecuadas y por ello su índice de crecimiento es muy alto ya que el segundo virus apenas crece, tasa 1.99. Por otro lado, si el segundo en entrar es una versión de este, su tasa es de 0.83 lo cual indica que sus cápsulas, aunque son adecuadas no son suficiente para su expansión.

En este sentido si uno es un virus y el otro la vacuna parece que lo mejor es vacunar antes, ya que su tasa de prevalencia es alta frente al virus.

5 CONCLUSIONES

En este trabajo se han atacado dos problemas distintos mediante los juegos no cooperativos.

El primero está relacionado con la inspección o regulación de la polución del agua que pueden producir los agricultores mediante inspección y auditorías de autoridades como un gobierno central y una empresa de aguas. Aunque no hemos llegado a un equilibrio absoluto en cuanto al problema, si nos ha permitido llegar a conclusiones satisfactorias sobre las actuaciones de los agentes teniendo en cuenta su máximo beneficio.

En segundo lugar, hemos tratado el problema de la epidemia por gripe aviar en el sudeste asiático. En este caso la teoría de juegos cooperativos nos ha permitido ver que es más conveniente, si vacunar preventivamente o esperar a ver la mutación del virus para actuar. El dilema del prisionero ha sido determinante para poder llegar a nuestra conclusión.

REFERENCIAS

Referencias electrónicas

https://www.who.int/csr/don/2014_01_13/es/

https://www.who.int/influenza/human_animal_interface/influenza_h7n9/es/

<https://www.cdc.gov/parasites/es/animals.html>

https://www.who.int/csr/resources/publications/influenza/WHO_CDS_CSR_GIP_05_8-SP.pdf?ua=1

<https://espanol.cdc.gov/flu/pandemic-resources/national-strategy/index.html>

<https://www.topdoctors.es/diccionario-medico/zoonosis>

<https://espanol.cdc.gov/flu/about/viruses/index.htm>

<https://policonomics.com/es/dilema-prisionero/>

Referencias literarias

Código dilema del prisionero

```
function playerstruct = IPDshell(varargin)
%
% playerstruct = IPDshell
% playerstruct = IPDshell('nodisp')
%
% GENERAL:
% IPDshell (iterated prisoner dilemma) runs the prisoner's dilemma game
% between two personalities at a time, 20 times. Each personality is a
% MATLAB function that must take the form:
%
% function response = personalityname(n,p)
%
% The shell passes the personality function the current iteration, n,
% (i.e. the number of times that the two personalities have been playing
% the game +1) and the amount of points scored by their opponent on the
% previous iteration, p. On the first iteration, p = -1.
% (From the number of points scored, it can be inferred both what your
% personality did, and what the opponent personality did.)
%
% The personality is required to respond when called with either of two
% strings:
%     'cooperate' or 'defect'
% The string must be the only output of the function.
%
% Note: The more personalities that are used, the better the gauge of the
% actual validity of all the personalities. Some personalities are
% highly exploitable, so small sample sizes can skew results.
%
% SETUP:
% (1) Place the file IPDshell.m into an empty directory.
% (2) Each player places a folder in this directory, and the name of this
% folder will be the player's name.
% (3) In each player's folder they should place as many personality
% functions as they wish, but only personality functions may be
% placed in the player's folder. (see INSTRUCTIONS on how to create
```

```

%   an appropriate personality function)
% (4) Once SETUP(1-3) is complete, run IPDshell in the command window.
%
%   >> IPDshell;
%
%   (IPDshell will return the structure containing all the player data
%   after the matches are completed.)
%
%   Also, displayed to the command window will be all of the matches
%   played and the scoring after each round. To suppress this display,
%   as it may be cumbersome when playing large competitions, use the
%   command:
%
%   >> IPDshell('nodisp');
%
% RULES:
% Each personality tries to score the most number of points against each
% opponent personality during each match. P1 (a personality that is in
% the match) will say 'cooperate' or 'defect', as will P2. Points are
% then awarded to P1 and P2 based on the combination of their answers.
% Below is the chart the scoring is based on:
%
%           P2
%       cooperate  defect
%
% cooperate  3 - 3   0 - 5
%
% P1
% defect     5 - 0   1 - 1
%
%
% The scoring rubric gives points according to (P1 - P2). The decision to
% cooperate or defect will be made by both parties 20 times in
% succession. Each time a decision must be made, the personality is
% supplied with two pieces of information that may be used to make their
% decision, or that may be ignored. (1)The number of times they have
% played the game with this particular opponent, and (2)The number of
% points their opponent scored the last time they played.
%
% The maximum score in a competition for any personality is 100 points,
% earning 5 points during each of the 20 decisions by defecting when the
% opponent cooperates.

```

```

%
% Games are played 20 times between two personalities, which constitutes
% a match. Matches are played between every personality available,
% however, personalities made by the same player do not play matches
% against each other to avoid collusion.
%
% Deciding the competition winner:
% The personality that scores the most average points per match is the
% most successful, and so the player who employs that personality is
% declared the winner.
%
% v1.02
% %%% ZCD 2006 %%%
% Build player structure
[playerstruct] = BuildPlayerStruct;
% Get the schedules of personalities that will be playing against each
% other in an array, schedule.
schedule = BuildMatchSchedule(playerstruct);
schedsize = size(schedule); % BUGFIX: Must use # of rows in case of 1 match
% ===== Begin the competition: =====
for mn=1:schedsize(1) % number of matches (mn = match number)

    % reset scoring matrix
    ScoreMat = [-1 -1];

    % Pick out the appropriate match from schedule.
    match = schedule(mn,:);

    % Begin particular match
    for n=1:20          % 20 rounds

        % Evaluate each player personality. Do not use the last 2 characters of
        % the personality name, '.m' This is where the personality makes
        % the decision to cooperate or defect, and their function is
        % called.
        % ----
        response{1} = eval( [playerstruct(match(1)).personality(1:end-2),'(n,ScoreMat(end,2))' ] );
        response{2} = eval( [playerstruct(match(2)).personality(1:end-2),'(n,ScoreMat(end,1))' ] );
        % ----
        % score the outcomes:
        if isequal('cooperate',response{1}) & isequal('cooperate',response{2})

```

```

    ScoreMat(n,1)=3; ScoreMat(n,2)=3;
elseif isequal('defect',response{1}) & isequal('cooperate',response{2})
    ScoreMat(n,1)=5; ScoreMat(n,2)=0;
elseif isequal('cooperate',response{1}) & isequal('defect',response{2})
    ScoreMat(n,1)=0; ScoreMat(n,2)=5;
elseif isequal('defect',response{1}) & isequal('defect',response{2})
    ScoreMat(n,1)=1; ScoreMat(n,2)=1;
else
    error('==== There is an uncooperative personality. ==== ');
end
end % end round

% keep score for each personality, and track number of matches played
playerstruct(match(1)).score = sum(ScoreMat(:,1)) + playerstruct(match(1)).score;
playerstruct(match(1)).nummatches = playerstruct(match(1)).nummatches + 1;
playerstruct(match(2)).score = sum(ScoreMat(:,2)) + playerstruct(match(2)).score;
playerstruct(match(2)).nummatches = playerstruct(match(2)).nummatches + 1;

% Allow user to turn off display
if isempty(varargin)
    GraphicDisplay(playerstruct,ScoreMat,match);
elseif isequal(varargin{1},'nodisp')
    % Suppress match scores display to command window.
else
    error('== Invalid input to IPDshell ==');
end

end % end match

% ===== END COMPETITION =====

% Display final results.
Results(playerstruct);

% -----
function [playerstruct] = BuildPlayerStruct
%
% Builds the structure containing player names and personalities from the
% player files. File names are player names and function names are
% personality names. Each index in playerstruct corresponds to a
% personality. Each index in playerstruct has the following fields:
%
```

```

% playerstruct
% .playername : name of the player that this personality belongs to
% .playerdir : directory path that the personality is in
% .personality : name of the personality
% .score : total number of points earned by this personality
% .nummatches : number of matches that this personality played
%
%
% %%% ZCD 2006 %%%
% Put all contents of the directory into 'files'
files = dir(cd);
% Count the number of total personalities (equal to length(playerstruct)
% once the playerstruct is built.
np = 0;
% Count the number of players.
nplayer = 0; % as of v1.01 this is unused
% Obtain the contents of the player directories, search for player
% directories, and load player names and player personalities into the
% structure playerstruct.
for n=1:length(files)
    % if the entry in files is a directory and not a path...
    if (files(n).isdir & (files(n).name(1)~='.'))
        % We found another player
        nplayer = nplayer+1;

        % Obtain all personalities in the player's file
        playerfiles = dir( strcat(cd,'\',files(n).name, '*m') );

        for k=1:length(playerfiles)
            np = np+1; % We found another personality
            % Get the player's name (same as their folder's name)
            playerstruct(np).playername = files(n).name;
            playerstruct(np).playerdir = strcat(cd,'\',playerstruct(np).playername);

            % Put all the names of the personalities in the field
            % 'personality'
            playerstruct(np).personality = playerfiles(k).name;

            % Keep fields for scores and total number of games played
            playerstruct(np).score = 0;
            playerstruct(np).nummatches = 0;
        end
    end
end

```

```

    end
    % Empty out playerfiles for the next player
    clear playerfiles
    % Add the player folders to the MATLAB path
    addpath(playerstruct(np).playerdir);
end
end
% -----
function GraphicDisplay(playerstruct,ScoreMat,match)
%
fprintf('\n\n %s %s \n',playerstruct(match(1)).playername,...
    playerstruct(match(2)).playername);
fprintf(' %s %s \n', playerstruct(match(1)).personality(1:end-2),...
    playerstruct(match(2)).personality(1:end-2));
disp(ScoreMat);
% -----
function schedule = BuildMatchSchedule(playerstruct)
%
% This builds the schedule of matches to be played. It checks each
% personality against each other, looking for whether the playername
% is the same. If playernames are the same, the corresponding match is not
% placed into schedule.
% Schedule is a nx2 array where each row is one match to be played, and
% each column is the index in playerstruct of the two personalities playing.
%
%
% %%% ZCD 2006 %%%
% Initialize schedule variable
schedule = [];
for h = 1:length(playerstruct)
    % Don't recount any of the personalities, they have been checked
    % already by the i loop in the past h iteration. So, now we can start
    % checking from h+1. This also avoids repeat matches.
    for i = (h+1) : length(playerstruct)
        % if the h player's maker is not the same as the i player's maker...
        if ~strcmp(playerstruct(h).playername , playerstruct(i).playername)

            % ...they should play each other
            schedule(end+1,:) = [h i];
        end
    end
end
end

```

```

end

% -----
function Results(playerstruct)
%
% This function displays the results of the competition in a bar graph,
% sorted from highest scoring personality to lowest. If there are more than
% 6 personalities only the top 5 appear in the bar graph, the rest appear as
% names and scores only. If there are more than 20, only the top 20 are
% shown.
%
% This function takes the argument, playerstruct, created in function
% BuildPlayerStruct.
%
% %%% ZCD 2006 %%%
h1 = figure('name','IPD RESULTS','NumberTitle','off');
% Calculate average score and assign it to Y. Assign the corresponding name
% and assign it to X.
for i=1:length(playerstruct)
    Y(i) = playerstruct(i).score / playerstruct(i).nummatches;
    X{i} = [playerstruct(i).playername, ', ',playerstruct(i).personality(1:end-2)];
end
% Total number of competitors in cnum
cnum = length(Y);
% Sort Y, but retain the corresponding name in Xsrt.
[Ysrt IX] = sort( Y, 'descend' );
for i=1:length(Y)
    indsort = IX(i);
    Xsrt(i) = X(indsort);
end
if length(Y)<=6
    bar(Y)
    colormap summer
    set( gca, 'XTickLabel', X );
else
    Ym = [Ysrt(1:5) 0];
    Xm = Xsrt(1:5); Xm{6} = 'Field';
    bar(Ym)
    colormap summer
    set( gca, 'XTickLabel', Xm );
    for i=6:length(Y)

```

```

% Define placement of text string
text( 5.6, Ysrt(1)-(i-6.5)*(Ysrt(1)/15),...
    [ Xsrt{i} ' - ' num2str(Ysrt(i)) ],...
    'BackgroundColor', 'w', 'FontWeight', 'bold' );
if i==20
    cnum = i;
    break
end
end
end
set(gcf, 'Position', [70 373 1502 547]);
end
if length(Y)<21
    title( [ 'Rank Order and Score of All ', num2str(cnum), ' Competitors' ] );
else
    title( [ 'Rank Order and Score of Top ', num2str(cnum), ' Competitors' ] );
end
end
ylabel('Average Points Earned by Personality');
grid on;

```

ÍNDICE DE DEFINICIONES

Definición 1:	23
Definición 2:	23
Definición 3:	23
Definición 4:	24
Definición 5:	25
Definición 6:	25
Definición 7:	25
Definición 8:	27

ÍNDICE DE TEOREMAS

Teorema 1:	26
Teorema 2:	27
Teorema 3:	27

ÍNDICE DE AXIOMAS

Axioma 1:	26
Axioma 2:	26
Axioma 3:	27
Axioma 4:	27