

El modelo del Bar-celona: enfoque sobre el exceso de oferta de taxis

I. Introducción

El servicio de taxis ha sido explorado por la literatura económica como un mercado que cuenta con varias particularidades. Por ejemplo, Camerer, Babcock, Loewenstein y Thaler (1997) han descubierto que los taxistas Nueva York no aumentan el número de horas trabajadas en jornadas de lluvia, sino que poseen un ingreso diario de referencia a la que aspiran; de llegar a ese ingreso de referencia, dejan de trabajar por el día. Este dato también revela que el horizonte temporal de dichos trabajadores es corto, dado que en sus decisiones laborales sólo tienen en cuenta los ingresos del día en el que se encuentran.

En el presente trabajo, nos concentraremos en el mercado de taxis en España, donde el problema de exceso de oferta ha cobrado particular relevancia. Si bien dicha falla económica ha desembocado en un conflicto de índole nacional, por simplicidad, nos enfocaremos en analizar una ciudad: Barcelona.

De acuerdo con las prácticas ejercidas en las urbes mundiales, existen varias maneras de regular el mercado de taxis de forma tal que se modere su oferta; entre ellas se pueden citar la fijación de precios o de cantidad de horas laborables, como los incrementos en los requerimientos de calidad con los que deben contar los automóviles y sus conductores. Nuestro trabajo intentará buscar una solución al problema del exceso de oferta de taxis en Barcelona que no requiera de la intervención estatal. Para ello, nos basaremos en el modelo del bar “El farol” generado por Brian Arthur.

El trabajo desarrollado por Arthur consiste en un modelo poblacional de aprendizaje: en un pueblo de N individuos existe un bar con una capacidad máxima de individuos estrictamente inferior a N , por lo que los habitantes deben coordinarse en sus idas al bar para no exceder su capacidad. Sin embargo, también existe un umbral mínimo de gente requerida en el bar por día. A los individuos les gusta ir al bar y están satisfechos al asistir al bar si la cantidad de gente que hay en él se encuentra comprendida entre el umbral inferior y el umbral superior, pero están disconformes con

su decisión de ir al bar si concurren cuando la cantidad de gente presente es menor al umbral inferior o mayor al umbral superior. Con el correr de las semanas, los individuos adaptan sus estrategias conforme a los resultados de la semana anterior, esto es, la concurrencia al bar de cada día de la semana anterior. Ellos aprenden semana a semana cómo mejorar sus estrategias de manera que se maximice su utilidad, dadas las estrategias de los demás habitantes. De esta forma, es posible llegar a un equilibrio en el que la asistencia al bar es igual al umbral superior.

En lo que refiere al exceso de oferta de taxis, consideraremos a las diferentes zonas de Barcelona como bares cuyos umbrales superiores estarán determinados por su demanda. Nuestro trabajo, entonces, consiste en un modelo de aprendizaje a la Arthur con varios “bares”. Los detalles del modelo estarán explicitados en la sección III , mientras que el conflicto empírico que motiva al modelo se desarrolla en la sección II. En la parte IV mostramos los comandos de Matlab que utilizamos en la elaboración del modelo, cuyos resultados se desarrollan en la sección V. La última sección contiene la conclusión.

II. El mercado de taxis en Barcelona.

El mercado de taxis español no ha estado exento de la debacle que actualmente aqueja a la economía ibérica. De acuerdo con el diario “El País”, los sindicatos estiman una caída en la demanda de taxis de 30% entre agosto del año 2011 y agosto del año 2012¹. La crisis del sector se ve exacerbada por las características propias del mercado. De hecho, trabajadores de otros sectores que cayeron en el desempleo como consecuencia de la depresión económica suelen recurrir a la conducción de taxis como alternativa laboral, de manera que la oferta de taxis se vea aumentada, y no disminuida, en períodos de crisis².

Por otro lado, el conflicto económico también exagera la xenofobia proliferante en Cataluña, de modo que el exceso de oferta de trabajadores ha devenido en una problemática social. En 2010, 11,1% de los taxistas barceloneses eran foráneos,

1 Carranco, Rebeca y Baquero, Camilo S., *La crisis dispara tensiones de tinte xenófobo entre taxistas de Barcelona*, El País, 23/08/2012, disponible en:

http://ccaa.elpais.com/ccaa/2012/08/23/catalunya/1345750089_724785.html.

² *Los taxistas extranjeros en Barcelona aumentan y ya son uno de cada seis chóferes*, La Vanguardia, 21/01/2013, disponible en:

<http://www.lavanguardia.com/local/barcelona/20120814/54336682121/aumentan-taxistas-extranjeros-barcelona.html>

mientras que en el 2012, la cifra se elevó a 15,25%. Si bien muchos taxistas argumentan que los extranjeros no cumplen con las reglas implícitas impuestas por el gremio ni conocen las calles, hay quienes sostienen que el problema verdaderamente yace en la falta de demanda: “En la buena época, ellos hacían la noche porque nadie la quería y no se oían quejas. Ahora que falta trabajo, todo son lamentos”³.

Es claro que la crisis económica ha incrementado la diferencia entre la oferta y la demanda de mercado mediante varios canales: la oferta creció porque, ante la falta de empleo, trabajadores de otros sectores se convirtieron en taxistas; la demanda cayó porque los usuarios de taxis han decidido utilizar medios de transporte más baratos en el contexto de la depresión económica⁴.

Ahora bien, cuantificar el exceso de taxis en circulación resulta problemático, pues, dada la dinámica del mercado, no es posible estimar exactamente la oferta ni la demanda de viajes en taxis en cada momento del día. Una posible forma de hacerlo consiste en comparar el mercado de Barcelona con el de otras ciudades europeas, considerando a la cantidad de habitantes de las mismas como una aproximación de la demanda y a la cantidad de licencias de taxis como la oferta disponible en cada urbe. Claramente, no todos los habitantes de una ciudad son consumidores de taxis, ni el número de licencias de taxis constituye un conteo exhaustivo de la cantidad de taxistas en una metrópolis. No obstante, utilizamos estos datos para ilustrar la magnitud del problema planteado mediante la comparación de la abundancia relativa de taxis en Barcelona con respecto a otras ciudades del continente. Para tal fin, también nos valemos de datos acerca de las tarifas de los taxis y del pbi per cápita en cada zona.

³ Carranco, Rebeca y Baquero, Camilo S., op.cit.

⁴ “Unos turistas escrutan un mapa... Toman el metro. Ahora la gente siente que ahorrar es una obligación moral” sentencia la nota de La Vanguardia (*Los taxis colapsan las paradas de Barcelona por falta de clientes*, La Vanguardia, 11/04/2012, disponible en: <http://www.lavanguardia.com/vida/20120411/54284068617/taxis-colapsan-paradas-barcelona-falta-clientes.html>).

Mercado de taxis en ciudades europeas

Ciudad	Cantidad de habitantes	Cantidad de taxis	Taxis por cada mil habitantes	Bajada de bandera (euros)	Tarifa por km (euros)	Costo por 20 km (euros)	PBI per cápita (euros)	Costo de viaje de 20 km sobre PBI per cápita (euros/miles)
Ámsterdam	789.285	1.579	2,00	2,50	1,95	41,50	44.343	0,9358862
Barcelona	1.615.448	10.5	6,50	2,50	0,94	21,30	30.300	0,7029703
Berlín	3.501.872	7.323	2,09	3,00	1,82	39,40	28.955	1,3607322
Dusseldorf	573	1.561	2,72	5,50	1,80	41,50	30.435	1,3635617
Madrid	3.265.038	15.708	4,81	2,52	1,05	23,52	29.731	0,7910935
Valencia	798.038	2.836	3,55	5,00	1,00	25,00	20.583	1,2145946

Fuente: datos de habitantes y taxis provenientes de www.teinteresa.es, datos de PBI provenientes de www.datosmacro.com⁵ y datos de tarifas obtenidos de www.numbeo.com/taxi-fare.

Como puede verse en la tabla 1, la cantidad de taxis por habitantes en Barcelona es superior a la de las demás ciudades presentadas. Si sólo tenemos en cuenta que el promedio de taxis por cada mil habitantes es de 3,37, podríamos decir que el exceso de oferta es igual a 5056 taxis. Si no incluyéramos el dato de Barcelona en el promedio, el exceso de oferta consistiría de 6316 taxis. Sin embargo, debe tenerse en cuenta, a su vez, que el precio de los viajes es, en promedio, 34% más bajo en la ciudad catalana que en el resto de las ciudades, a pesar de que el pbi per capita de la misma se encuentre cercano a la media muestral. Consecuentemente, estaríamos subestimando la demanda si no consideráramos dicho diferencial de precio. Dado que el ratio costo de viaje sobre pbi per cápita está 36% por debajo de la media, podríamos argumentar que los taxis son más demandados en Barcelona que en Ámsterdam o Berlín, por ejemplo, ya que su precio relativo es menor. Desafortunadamente, no contamos con una buena estimación de la elasticidad precio de los taxis. Si asumimos que la elasticidad precio es igual a 1, entonces el exceso de licencias rondaría 3200 taxis, una cifra significativamente inferior a las expresadas anteriormente:

$$\text{Exceso de oferta de licencias} = 10.500 - 3,37 \times 1,34 \times 0,001 \times 1.615.448 = 3205.$$

Entonces, ya sea que tomemos en consideración la cantidad de taxis por habitantes y/o el precio de los taxis, el exceso de oferta de licencias es innegable.

⁵ Los datos de PBI per cápita refieren al pbi per cápita nominal del año 2011 de la provincia en la que se encuentra cada ciudad. Por falta de disponibilidad, no se pudieron presentar datos a nivel exclusivamente urbano.

Testimonios de los protagonistas avalan de manera más concreta la evidencia presentada por los datos anteriores⁶:

- "Cada vez son más los días que te vas a casa con una caja de unos 80 o 90 euros, y si a eso le restas los gastos, te das cuenta de que estas trabajando por mil euros al mes".
- "Hay que hacer algo, estamos repartiendo la miseria y a este paso lo único que lograremos es hundirnos todos"
- "Y a veces nosotros no sabemos comportarnos...".
- "Es que siempre estamos más de los que cabemos"

Frente a tal conflicto, los taxistas catalanes han tomado una posición activa, imponiendo medidas que parecieran capaces de apalear el exceso de oferta del mercado. En febrero de 2012, éstos eligieron por votación el establecimiento de turnos diarios: sólo se podría trabajar un turno por día (mañana o tarde) y el turno se iría alternando mes a mes en función de si el número de licencia era par o impar. Además, se podría trabajar en el turno noche voluntariamente⁷.

Si bien la medida pretendía retirar de circulación a 2000 taxis, fue revocada a principios de enero de 2013, tras dos días de huelga por parte de los taxistas. Como lo entiende Eduard Ràmia, gerente del Instituto Metropolitano del Taxi (IMET), la imposición fracasó porque "ellos (los taxistas autónomos) se compraron un taxi y no quieren que nadie les diga cuándo tienen que trabajar (...). Los taxistas siempre han sido individualistas y con intereses confrontados. La situación económica ha hecho explotar esta rivalidad."⁸ La rivalidad, a su vez, se ve intensificada por el hecho de que "en el sector conviven empresarios que poseen una flota, autónomos que explotan su licencia las 24 horas del día con otro trabajador, aquellos que tienen su propio vehículo y trabajan a un solo turno (12 horas) y asalariados"⁹, lo cual imposibilita la llegada a un consenso en un ambiente tan atomizado.

⁶ Las frases citadas fueron extraídas de la nota *Los taxis colapsan las paradas de Barcelona por falta de clientes*, del diario La Vanguardia (11/04/2012), disponible en: <http://www.lavanguardia.com/vida/20120411/54284068617/taxis-colapsan-paradas-barcelona-falta-clientes.html>.

⁷ *Nuevos turnos para los taxis de Barcelona*, El Mundo, 02/10/2012, disponible en: <http://www.elmundo.es/elmundo/2012/10/02/barcelona/1349194800.html>

⁸ García Vázquez, David, *Los taxistas van por libre*, El País, 11/01/2013, disponible en: http://ccaa.elpais.com/ccaa/2013/01/11/catalunya/1357935888_940974.html.

⁹ García Vázquez, David, op cit.

Por otra parte, un gran número de trabajadores concuerda en que la solución al exceso de oferta de taxis radica en la reducción de licencias. Sin embargo, el gobierno local todavía no ha tomado ninguna iniciativa que apunte en esa dirección. El fracaso de dicha medida en el pasado es una de las explicaciones que Ràmia articula para justificar su inejecución¹⁰.

De todas maneras, cualquier solución que intente imponer el gobierno resultará imposible de implementar si existe por lo menos una minoría que se oponga a ella. Sería más conveniente, entonces, que los taxistas se auto-organizaran laboralmente sin tener que recurrir a la acción del gobierno.

La relevancia de nuestro trabajo se halla, entonces, en la incapacidad de sus protagonistas de llevar a cabo dicho objetivo. En efecto, es de nuestro interés estimar un modelo de aprendizaje basado en algoritmos genético que permita a los taxistas tomar decisiones laborales óptimas dado el exceso de oferta presente en Barcelona actualmente.

III. Modelo

Dentro de los modelos poblacionales de aprendizaje, nos interesa indagar en el modelo del Bar de Brian Arthur. Dicho modelo supone la existencia de un bar en un pueblo con N habitantes. Ellos deben decidir si asistir al bar o no. El bar tiene tanto un umbral inferior como uno superior de capacidad, donde dicha capacidad está fija. La gente está satisfecha con su elección de ir al bar si la cantidad de habitantes del pueblo que fueron al bar se encuentra comprendida entre el umbral inferior y el umbral superior de capacidad. Por el contrario, si el bar está muy lleno (la cantidad de gente es mayor al umbral superior) o casi vacío (los habitantes que asistieron son menos de los que indica el umbral inferior), quien eligió ir al bar estará insatisfecho con su decisión. La satisfacción se traduce en ganancia de utilidad, mientras que la insatisfacción se entiende como pérdida de la misma.

¹⁰ “A pesar de la multitud de discrepancias, todos los actores coinciden en la reducción de licencias como salida al problema de exceso de oferta. Una medida que ya se llevó a cabo en 1998, cuando se acordó la supresión de más de 1.215 permisos. Dos años después el Tribunal Superior de Justicia de Cataluña anuló la rebaja tras la denuncia de 144 taxistas. ‘El problema, como ha pasado esta semana, es que unos minoría puede acabar con cualquier acuerdo’, sentencia Ràmia (García Vázquez, D., *Los taxistas van por libre*, El País, 11/01/2013, disponible en: http://ccaa.elpais.com/ccaa/2013/01/11/catalunya/1357935888_940974.html)

Se supone que cada individuo tiene a su disposición un conjunto finito de estrategias; cada estrategia le indica al jugador, el individuo, si asistir o no al bar en cada día del período comprendido en la estrategia (cromosoma). Por ejemplo, la estrategia de cada jugador puede consistir en un cromosoma con 7 días, de modo que la estrategia de cada jugador debele qué tiene que hacer el individuo (ir o no ir al bar) en cada día de la semana.

Al comienzo del juego, los individuos eligen una estrategia del conjunto de estrategias que tienen disponibles y la ejecutan hasta el final de la semana. Una vez finalizada la semana, los jugadores pueden evaluar su desempeño sumando las ganancias o pérdidas de utilidad que se obtuvieron cada día. Suponiendo que las acciones de los otros habitantes del pueblo están fijas, un jugador puede comparar su desempeño con el que podría haber obtenido si hubiera utilizado las otras estrategias a su disposición. En base a estos cálculos, el individuo puede replantear su estrategia para la semana siguiente, de manera que obtenga mayor utilidad. Sin embargo, para llegar a un equilibrio es necesario que no todos los individuos actualicen sus estrategias al mismo tiempo.

El equilibrio al que se llega en este modelo es estático y consiste en que los habitantes se coordinen de forma tal que el bar tenga una ocupación igual al umbral superior. En efecto, si el bar tiene una ocupación inferior al umbral superior, aquellos que decidieron no ir al bar hubieran elegido ir, ya que prefieren ir al bar que no asistir si la ocupación se encuentra en el rango delimitado por los umbrales.

Como se estableció en secciones anteriores, nuestro objetivo consiste en analizar la problemática del exceso de oferta de taxis en Barcelona mediante la generación de un modelo poblacional de aprendizaje. El mismo está basado en el modelo presentado por Arthur, pero dista de él en varias maneras.

Nuestro modelo cuenta con tres bares que, aplicados al problema en cuestión, son tres zonas de la ciudad catalana. Barcelona se divide en 10 distritos, los cuales se ven en el mapa a continuación:



Sant Andreu, Nou Barris y Horta-Guinardo componen la primera región a la que llamaremos “barrio0” y constituyen distritos residenciales de clases sociales medias y bajas. La siguiente región (“barrio1”) está integrada por Les Corts y Sants-Montjuïc, los distritos más cercanos al aeropuerto, aunque con menor preponderancia que los distritos de la región central en términos económicos, residenciales y turísticos. Los distritos Sant Martí, Ciutat Vella, Gràcia, L’Eixample y Sarrià- Sant Gervasi conforman, por otra parte, la tercera región (“barrio2”), en la que residen los habitantes más acaudalados de la ciudad y que contiene las atracciones turísticas más populares, además de tener una gran concentración de actividad económica. Existe una cuarta alternativa a las tres zonas nombradas, “casa”, que consiste en no trabajar.

Según lo indicado en la sección II, el exceso de oferta de licencias de taxis en Barcelona es, bajo ciertos supuestos, de aproximadamente 3200 taxis. Esto implica que la cantidad de taxis con licencias que debería existir en la ciudad es 7300, de manera que Barcelona sólo tiene capacidad para el 70% de los taxis que hoy en día circulan en ella. Consecuentemente, hemos decidido utilizar dicha cifra para determinar los umbrales superiores de ocupación de taxis de las regiones urbanas. La sumatoria de las

los tres umbrales superiores es 0,7. El umbral de cada zona depender del poder económico de sus residentes, la magnitud de la actividad económica que en ella se realice y la cantidad y relevancia de sus sitios turísticos. El modelo no cuenta con umbrales inferiores de ocupación, pues no encontramos que estos tengan sentido en nuestra aplicación.

Barrio	Distritos	Ocupación
0	Horta-Guinardó, Nou Barris, Sant Andreu	0,15
1	Les Corts, Sants-Montjuïc	0,25
2	Ciutat Vella, L' Eixample, Gràcia, Sarrià-Sant Gervasi, Sant Martí	0,30

Por otro lado, también incluimos costos en las funciones de utilidad de los jugadores. Independientemente de las pérdidas que los conductores obtienen por trabajar en zonas sobre-ocupadas (con una ocupación por encima de su umbral superior,) podemos pensar que existen costos de movilización hacia distintas regiones como, por ejemplo, el costo de la nafta. Por este motivo, decidimos asignar a los jugadores aleatoriamente una región de residencia. A medida que los taxistas se alejan más de su región de residencia, mayor será el costo que deberán pagar. Como se ve en el mapa, los individuos que residen en la zona 2 se hallan beneficiados en términos de movilización debido a la posición céntrica de la misma, pues es igual de costoso para este tipo de taxistas ir a la zona 0 o a la zona 1. Ir a la zona 2 para los taxistas que residen en las regiones de los extremos es igual de costoso que ir a cualquiera de las regiones extremas para los residentes del área 2. En cambio, un taxista que reside en una zona extrema debe atravesar la zona 2 para llegar hacia la otra región. Por eso, otorgamos un mayor costo a este tipo de movimientos. En un caso, elegimos que el costo de traslado entre un barrio y otro sea constante e igual a 0,05, mientras que en otro caso solamente aumentamos el costo de trasladarse a un barrio distinto de la zona de residencia, manteniendo en 0,05 el costo de movilizarse a una región adicional (costos marginalmente decrecientes).

A su vez, para dar cuenta de las variaciones en la demanda de taxis a lo largo del año, incluimos un aumento en el umbral de ocupación de los barrios en un 15% y un

incremento en los costos de no trabajar en los que denominamos “días de lluvia”. Dichos días tienen lugar aleatoriamente en un período de 3 meses, desde el día 127 hasta el día 227. Es decir, en una estación (invierno, por ejemplo), habrá días en que la demanda de taxis aumente, ya sea porque las temperaturas son muy frías para poder caminar o porque llueve. Consecuentemente, quedarse en casa, o no trabajar, implicará un costo de oportunidad mayor. La razón por la que sólo agregamos días de lluvia en una estación del año y no a lo largo del mismo es porque nos interesa ver cómo las transiciones estacionales alteran los equilibrios encontrados.

Por lo tanto, la función de utilidad sencilla en base a la cual toman decisiones estos agentes depende de la ganancia (g) que obtenga por haber ido a un barrio cuya ocupación es menor a la del umbral (o pérdida en el caso contrario) y de los costos de traslado (ct). Posteriormente, se añadirá un costo de oportunidad (co) de quedarse en la casa en ciertos días aleatorios en un período de tiempo, que llamaremos “días de lluvia”.

En su forma más simple, la función de utilidad promedio analizada en los resultados es la siguiente:

$$\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [g_{i,t} - ct_{i,t} - co_{i,t}] = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [U_{i,t}]$$

N son los individuos y T la cantidad de días en el cromosoma

Siguiendo los datos empíricos, la cantidad de agentes que hay en el modelo es 10500. Cada cromosoma consta de 7 días y existen 52 iteraciones, de modo que haya 364 días en total. La cantidad de estrategias que tiene a su disposición cada jugador se limita a 4.

La probabilidad de evolucionar, es decir, la probabilidad de poder cambiar el cromosoma, o estrategia, está indicada en cada subtítulo. La evolución se llevará a cabo mediante los algoritmos genéticos de la mutación y la cruce. El proceso de cruzamiento o cruce corta dos cromosomas en el mismo punto (en este caso, día) para generar un nuevo cromosoma que contenga la primera parte de uno y la segunda parte del otro. La mutación, en nuestro contexto, implicará el cambio de estrategia en uno de los días del cromosoma.

IV. Códigos de Matlab

Para crear el modelo, contamos con cuatro códigos: bam_run_ma_npop_costos_lluvia, ga_binary_new_ma, ga_evolve_ma y graficos_en4. El primero y el más importante contiene la mayor parte del desarrollo del modelo, el segundo define los genomas para los distintos individuos, el tercero actualiza los algoritmos genéticos y el cuarto muestra cómo se crearon los gráficos.

bam_run_ma_npop_costos_lluvia:

```
function [st, plan, a]= bam_ga_ma(occupation, npop, m, niter, pevol,
seed)

k      = 4;           % número de cromosomas de cada agente

occup=[0.15 0.25 0.3 1]' %ocupación de los barrios

    seed = 1234
    npop = 10500 %cantidad de individuos
    m    = 7 %cantidad de días por cromosoma
    niter = 52 %cantidad de generaciones
    pevol = 0.3 % probabilidad de evolucionar

rand('state',0);

home=randi(3,1,npop)-1; %a cada agente le asigna una zona de
residencia

for il=1:npop,
    a(il) = agent_new_ma(il, k, m);
end

st.con_list = []; % ocupación media por semana
st.occ_list = []; % ocupación por día
st.sc_list  = []; % score por semana

for iter = 1:niter*m,

    day    = mod(iter, m) + 1;

    % Se encuentran todas las estrategias en todos los chromos en un
día
    go = zeros(k,npop);
    for k1 = 1:k,
        for il = 1:npop,
            go(k1,il) = a(il).genome.chromos(k1, day);
        end
    end

    goes = go(1,:); % a qué barrio va cada gente en cada día.
```

```
    %cuantos van a cada barrio en el dia m, según la primera
estrategia de
    %cada uno:

barrio0=length(find(goes==0))/npop;
barrio1=length(find(goes==1))/npop;
barrio2=length(find(goes==2))/npop;
casa=length(find(goes==3))/npop;

mgo=[barrio0 barrio1 barrio2 casa]';

st.occ_list = [st.occ_list horzcat(mgo)];

% La matriz wins determina las ganancias y pérdidas por ir a los
distintos
% barrios

wins=zeros(k,npop);
for k=1:k
    for j=1:npop
        if (go(k,j)==3),
            if(mgo(3,1) >= occup(3,1))
                if (mgo(2,1) >= occup(2,1))
                    if (mgo(1,1) >= occup(1,1))
                        wins(k,j) = go(k,j)-2.75;
                    else
                        wins(k,j) = go(k,j)-3;
                    end
                end
            end
        end
        if (go(k,j)==1)
            if (mgo(2,1) >= occup(2,1))
                wins(k,j) = 1-go(k,j);
            else
                wins(k,j) = go(k,j);
            end
        end
        if (go(k,j)==0)
            if (mgo(1,1) >= occup(1,1))
                wins(k,j) = go(k,j);
            else
                wins(k,j) = 1-go(k,j);
            end
        end
        if (go(k,j)==2),
            if(mgo(3,1) >= occup(3,1))
                wins(k,j) = go(k,j)-2;
            else
                wins(k,j) = go(k,j)-1;
            end
        end
    end
end

% si llueve en ese día, el costo de no salir a trabajar es mayor
number_day=(iter-1)*7+day
rand(1,90)>0.3
cant=find(ans==1)
fecha_lluvias=cant+137
```

```
for i=1:(length(fecha_lluvias))
if number_day==fecha_lluvias(1,i)
for k=1:k
for j=1:npop
if (go(k,j)==1)
if (mgo(2,1) >= occup(2,1)*1.15)
wins (k,j) =1-go(k,j);
else
wins (k,j) = go(k,j);
end
end
if (go(k,j)==0)
if (mgo(1,1) >= occup(1,1)*1.15)
wins (k,j) = go(k,j);
else
wins (k,j) = 1-go(k,j);
end
end
if (go(k,j)==2),
if (mgo(3,1) >= occup(3,1)*1.15)
wins (k,j) = go(k,j)-2;
else
wins (k,j) = go(k,j)-1;
end
end
if (go(k,j)==3),
if (mgo(3,1) >= occup(3,1)*1.15)
if (mgo(2,1) >= occup(2,1)*1.15)
if (mgo(1,1) >= occup(1,1)*1.15)
wins (k,j) = go(k,j)-5;
else
wins (k,j) = go(k,j)-8;
end
end
end
end
end
end
end

% wins_pond tiene en cuenta las ganancias y pérdidas de la matriz
wins,
% además de los costos de trasladarse entre barrios

wins_pond=zeros(k,j);
for k=1:k
for j=1:npop
if (home(1,j)==go(k,j))
wins_pond(k,j)=wins(k,j);
else
wins_pond(k,j) = wins(k,j)-0.05;
end
end
end

%costos asimétricos según el barrio
for k=1:k
for j=1:npop
```

```

    if (home (1,j)==0)
    if (go(k,j)==1)
        wins_pond(k,j) = wins_pond(k,j)-0.05;
    if (home (1,j)==1)
    if (go(k,j)==0)
        wins_pond(k,j) = wins_pond(k,j)-0.05;

    end
    end
    end
    end
end
end

% actualización del fitness:
for il=1:npop,
    a(il).genome.fitness = a(il).genome.fitness + wins_pond(:,il);
end

% fitness de la semana
if day == m,
    plan=zeros(npop, m);
    for il=1:npop,
        plan(il,:) = a(il).genome.chromos(1,:);
    end

    % se guarda el fitness
    sc = zeros(1, npop);
    for il=1:npop,
        sc(il) = a(il).genome.fitness(1);
    end
    st.sc_list = [st.sc_list mean(sc)];

    % el genoma evoluciona
    for il = 1:npop,
        if rand(1,1) < pevol,
            % devuelve el genoma ordenado según el fitness
            a(il).genome = ga_evolve_ma(a(il).genome);
            a(il).genome.fitness = zeros(k,1);
        end
    end
end
end
end

%Se genera la ocupación promedio de cada semana:
c=7;
for i=1:niter
    c=[c 7*i]
end

for i=1:52
    st.con_list(1,i)=[sum(st.occ_list(1,(c(1,i)+1:(c(1,i)+7))))];
    st.con_list(2,i)=[sum(st.occ_list(2,(c(1,i)+1:(c(1,i)+7))))];
    st.con_list(3,i)=[sum(st.occ_list(3,(c(1,i)+1:(c(1,i)+7))))];
    st.con_list(4,i)=[sum(st.occ_list(4,(c(1,i)+1:(c(1,i)+7))))];
end
st.con_list=st.con_list/7;

% Se define un nuevo agente
function agent = agent_new_ma(i, k, m)

```

```
agent.name      = i;  
agent.genome    = ga_binary_new_ma(k,m);  
agent.score     = 0;
```

ga_binary_new_ma:

```
% Definición de un genoma nuevo de k elementos y con 7 días  
function genome = ga_binary_new_ma(k,m)  
  
    genome.chromos = randi(4,k,m)-1;  
    genome.fitness = zeros(k,
```

ga_evolve_ma:

```
function new_genome = ga_evolve_ma(genome)  
  
% ordena los cromosomas en orden decreciente:  
[new_fitness,indx2] = sort(genome.fitness);  
new_fitness = -new_fitness;  
len = length(indx2);  
indx = indx2;  
  
% index ordena los cromosomas de mayor a menor fitness, index2 los  
ordena  
% de menor a mayor  
for i=1:len,  
    indx(i) = indx2(len-i+1);  
end  
  
chromos1 = genome.chromos;  
new_chromos = genome.chromos(indx, :); %se reordenan las  
estrategias  
  
% se selecciona a dos cromosomas aleatoriamente y se reemplaza el  
segundo peor cromosoma s  
ii = round(rand(1,2)*(len-1))+1;  
if (ii(1) ~= ii(2))  
    ccross = chromo_cross(chromos1(ii(1),:), chromos1(ii(2),:));  
    new_chromos(len-1, :) = ccross;  
    new_fitness(len-1) = 0;  
end  
  
% selecciona aleatoriamente un cromosoma, excepto el primero, para  
mutar y reemplazar el peor cromosoma  
i1 = round(rand(1,1)*(len-2))+2;  
cmut = chromo_mutate(chromos1(i1,:));  
new_chromos(len, :) = cmut;  
new_fitness(len) = 0;  
  
new_genome.chromos = new_chromos;  
new_genome.fitness = new_fitness;  
  
% Operador de cruzamiento: corte y unión  
function chromo = chromo_cross(chromo1, chromo2)  
    len = length(chromo1);
```

```
    cutx      = round(rand(1,1)*(len-1))+1; %se elige aleatoriamente
un día para cortar al cromosoma
    chromo = [chromo1(1:cutx) chromo2(cutx+1 : len)]; % se genera el
nuevo cromosoma a partir del corte de los otros dos

% Operador de mutación: mutación de un día en el cromosoma
function chromo = chromo_mutate(chromo1)
    len      = length(chromo1);
    x        = round(rand(1,1)*(len-1))+1; %elige un día para cambiar el
cromosoma
    chromo = chromo1;
    chromo(x) = 1-chromo1(x);
```

Graficos_en4

```
m=7
niter=52
iter=m*niter

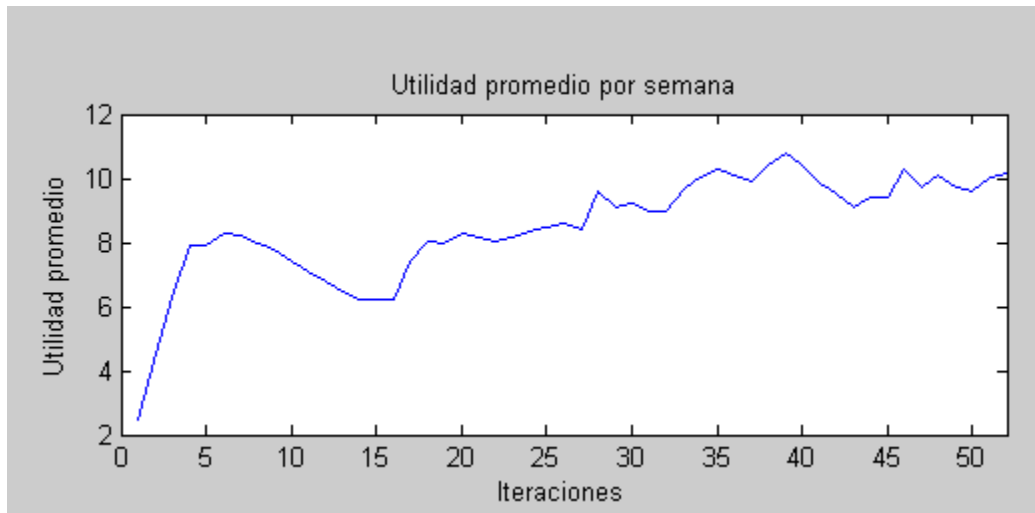
time_occ=1:m*niter
occ=ans.occ_list
plot(time_occ,occ(1,:), 'r-', time_occ,occ(2,:), 'g-',
time_occ,occ(3,:), 'b-', time_occ,occ(4,:), 'c-', time_occ, 0.15, 'k-',
time_occ, 0.3, 'k-', time_occ, 0.25, 'k-')
axis ([0 364 0.1 0.35])
xlabel('Días')
ylabel('Ocupación')
title('Ocupación del día según el barrio')
leg=legend('barrio0', 'barriol', 'barrio2', 'casa')
set(leg, 'Location', 'SouthWest')

time_con=1:iter
con=ans.con_list
plot(time_con,con(1,:), 'r-', time_con,con(2,:), 'g-',
time_con,con(3,:), 'b-', time_con,con(4,:), 'c-', time_con, 0.15, 'k-',
time_con, 0.3, 'k-', time_con, 0.25, 'k-')
axis ([0 52 0.1 0.35])
xlabel('Días')
ylabel('Ocupación')
title('Ocupación de la semana según el barrio')
leg=legend('barrio0', 'barriol', 'barrio2', 'casa')
set(leg, 'Location', 'SouthWest')

niter_bis=1:niter
sc=ans.sc_list;
plot(time_con,sc(1,:), 'b-')
axis ([0 52 -15 1])
xlabel('Semanas')
ylabel('Utilidad promedio')
title('Utilidad promedio por semana')
```


V. Resultados

Modelo sin costos (pevol=0,10):



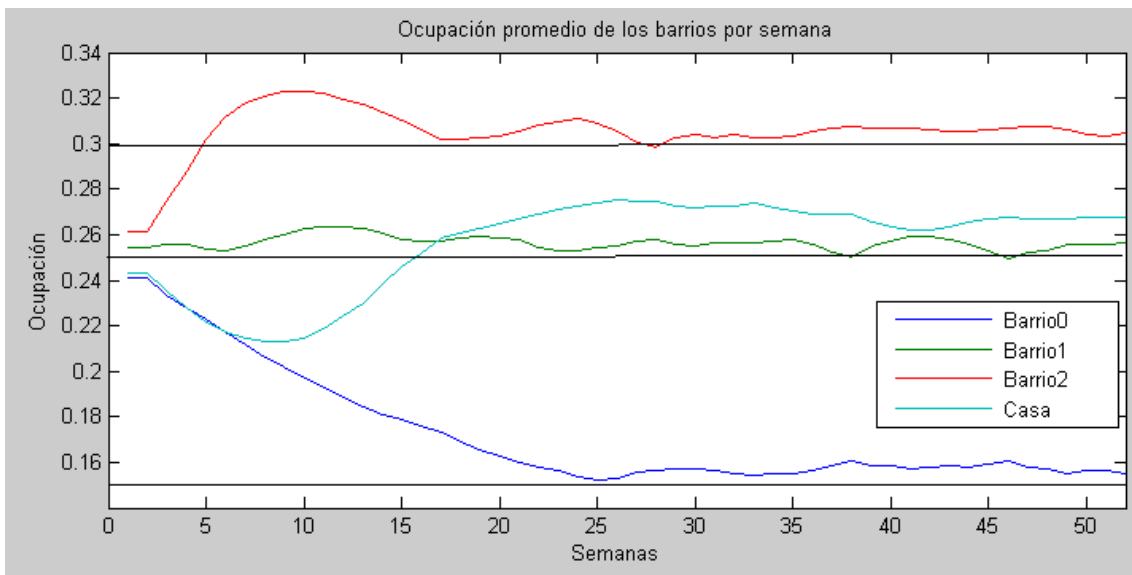
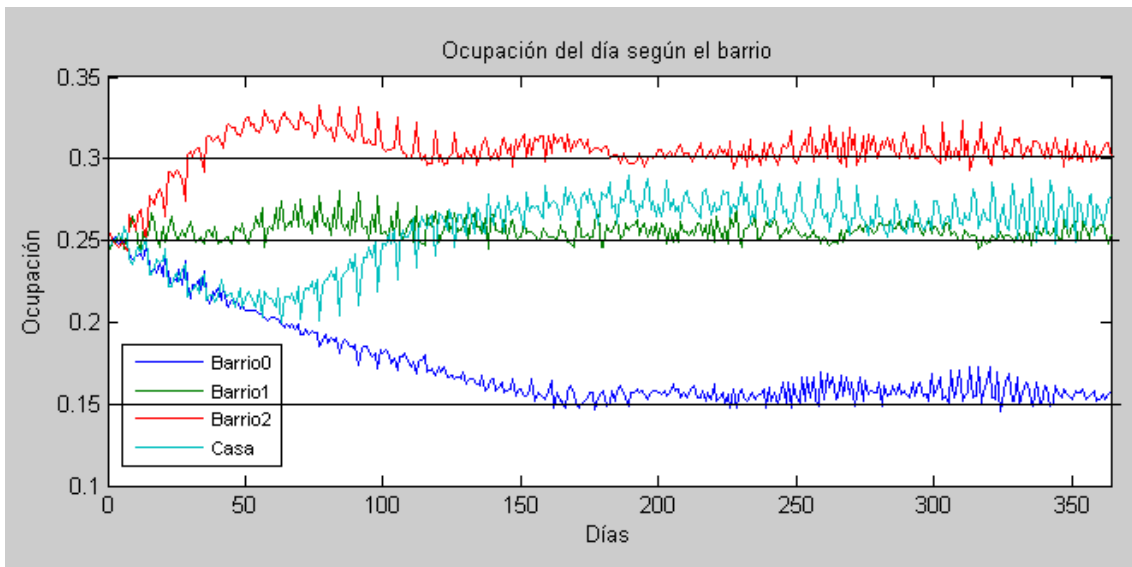
Si bien la utilidad promedio por semana crece a medida que pasa el tiempo, no lo hace monótonamente. De hecho, la utilidad desciende considerablemente en la semana 15, pero se recupera hasta llegar a 11 en la semana 39. Tras ese período, la utilidad cae un punto.

A su vez, la ocupación del barrio0, aquel con la menor cantidad de demanda converge a su umbral máximo. Por otro lado, el comportamiento de la ocupación diaria del barrio1 es mucho más errático que el de la zona anterior y parece centrarse alrededor de 0,26 y no 0,25, su umbral superior. En cambio, la ocupación del barrio2 converge hacia 0,3, aunque lo hace después del día 100.

El porcentaje de individuos que no trabaja converge a una cifra inferior a 0,3, que es el número al que se esperaba que tendiera la variable. No existen costos adicionales de ir a cualquiera de los barrios y la ganancia por quedarse en casa es baja, por lo tanto, hay pocos incentivos para que los individuos no trabajen. En consecuencia, trabajan más individuos de los que deberían, el porcentaje de trabajadores que se queda en su casa nunca llega a 0,3 y la convergencia de ocupación de los barrios se alcanza, en general, desde arriba. Cabe notar que al principio el porcentaje de taxis en cada barrio es igual para todos los barrios. Luego, los individuos comienzan a ir al barrio de mayor demanda, pero al darse cuenta que el barrio ya está saturado, dejan de trabajar, lo cual se evidencia en el aumento de taxistas que eligen la opción “casa”. La saturación del

barrio2 y la falta de trabajadores que se quedan en casa explican por qué la utilidad promedio tiene una caída tan grande entre las semanas 5 a 15.

Como mostramos en el apéndice, incrementar la probabilidad de evolucionar reduce la utilidad y provoca que las ocupaciones promedio de cada barrio converjan hacia números distintos de los respectivos porcentajes de ocupación.



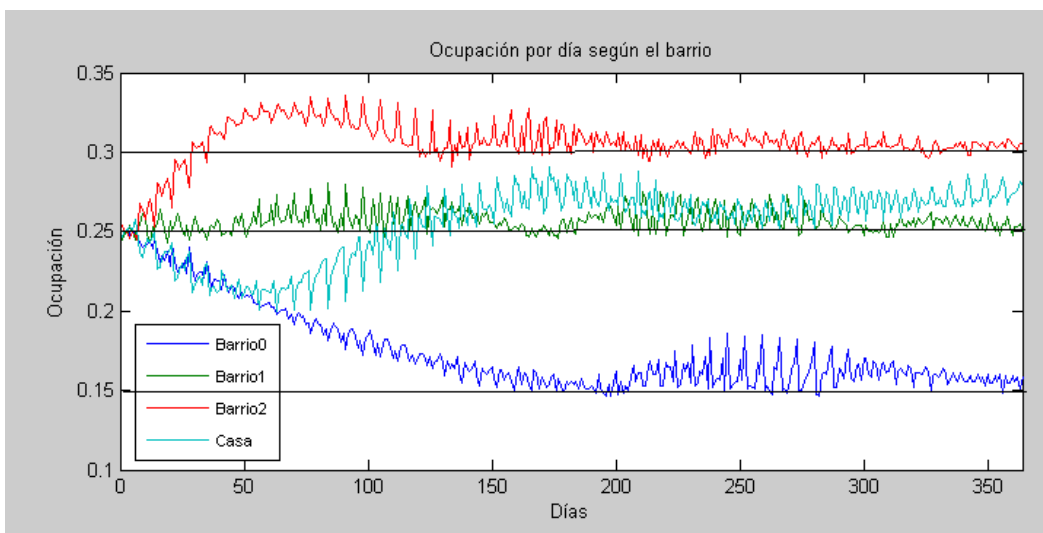
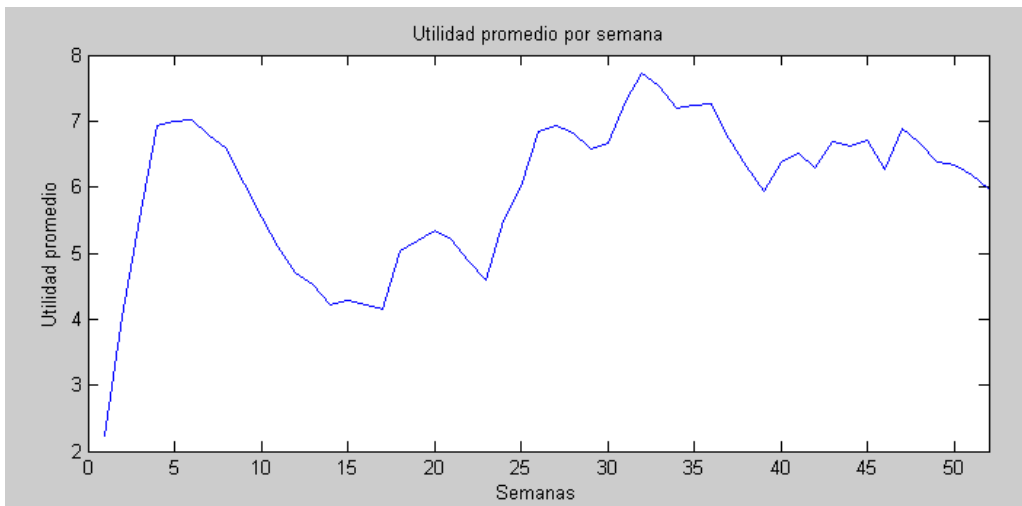
Modelo con costos constantes de traslado (pevol=0,10):

Agregando costos de traslado hacia los distintos barrios, la utilidad promedio al final del período se reduce a 6 puntos, 4 puntos por debajo de la utilidad alcanzada

cuando no existían costos. La conclusión a la que llegamos, en consecuencia, es que la complejización del modelo imposibilita que los individuos tomen decisiones óptimas en comparación con un escenario en el que los costos no existen.

Aunque la ocupación por barrio converge a los umbrales, la convergencia se da por arriba, lo cual explica el bajo rendimiento del modelo en términos de utilidad. La sobreocupación del barrio2, nuevamente es acompañada por el bajo porcentaje de individuos que deciden no ir a trabajar.

Si aumentamos la probabilidad de evolución, la utilidad promedio es incluso más baja y no converge y la variable ocupación se comporta de manera más errática que con una probabilidad de 0,1.

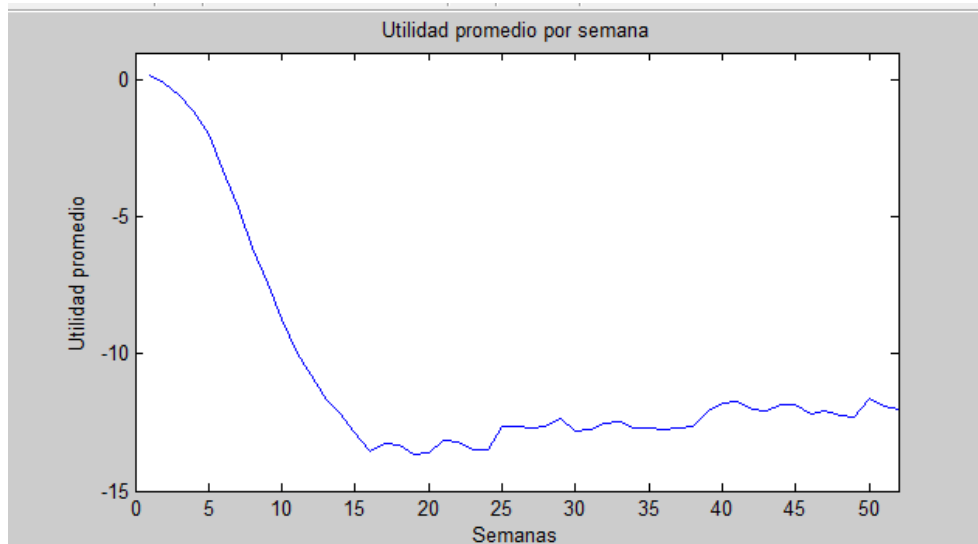


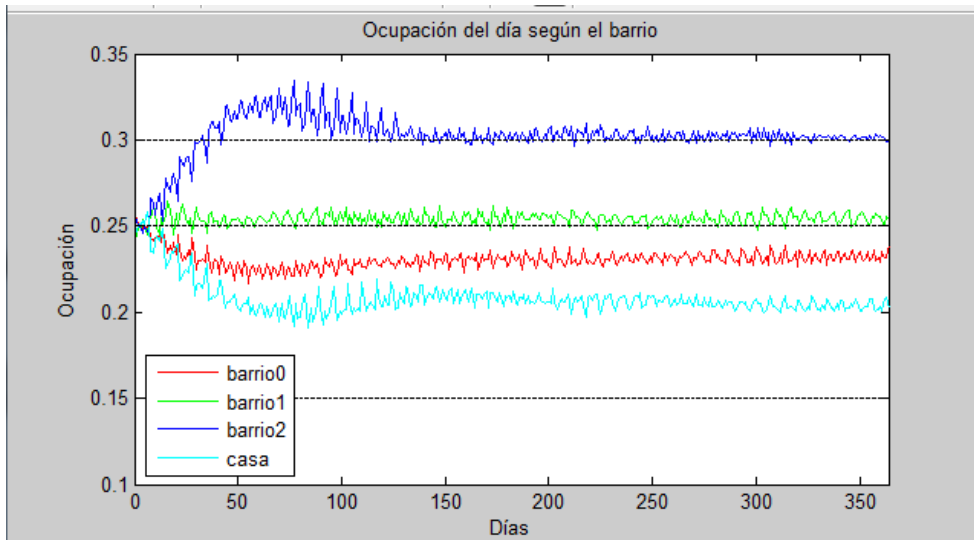
Modelo con costos marginalmente decrecientes de traslado (pevol=0,10):

La caída abrupta inicial se debería a que la mayoría de los taxistas se trasladan al barrio con umbral de ocupación más alto y a que el barrio0 está sobreocupado. A pesar de la actualización, dado que es muy costoso bajo el nuevo supuesto trasladarse de barrio, la utilidad permanece negativa y, a partir de la semana 15, oscila en no más de un punto.

Se puede ver en el gráfico siguiente que la ocupación tiende a estabilizarse en los niveles óptimos para los barrios 2 y 1, pero para el barrio 0 el porcentaje es 0.08 puntos mayor a lo deseado. El exceso en el barrio 2 parece ajustarse en el aumento de los taxistas que se quedan en la casa, y no yéndose al barrio 0, por ejemplo que se encuentra por debajo de su umbral, debido a los mayores costos de traslado.

Como se puede observar en el gráfico del apéndice, haber aumentado la probabilidad de evolucionar hace que la caída de la utilidad no sea tan brusca pero su mínimo ocurre anteriormente, en la semana 5 y luego tiene oscilaciones alrededor de un nivel de utilidad levemente más alto que el mínimo. Las ocupaciones son mucho más ruidosas al cabo de los días, pero repite el comportamiento respecto a los umbrales deseados con la probabilidad de evolucionar menor.



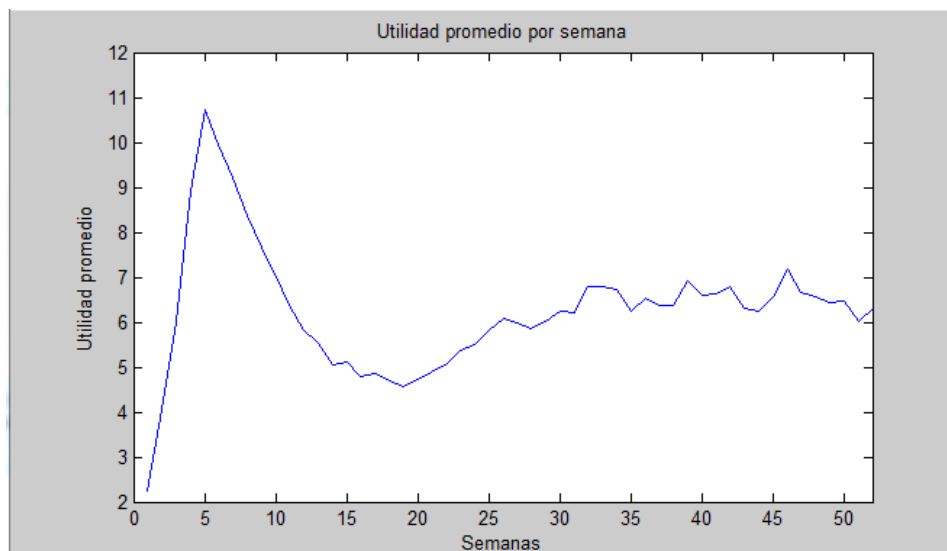


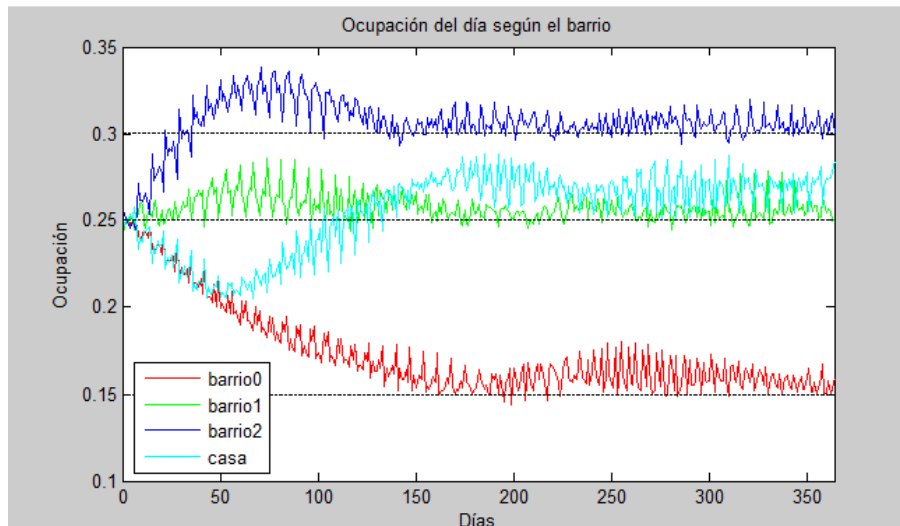
Modelo con costos constantes de traslado y lluvias (pevol=0,10):

La inclusión de estación con lluvias hace que la utilidad promedio alcance un pico de 11 puntos tras 5 semanas, para luego descender a hasta 5 puntos. Durante la época de lluvias y después de la misma, la utilidad se recupera levemente.

Si bien la ocupación de los barrios se comporta como en casos anteriores, el porcentaje de gente que no trabaja tiene un movimiento más errático una vez que finaliza el período de lluvias (día 227).

Al aumentar la probabilidad de evolución, la utilidad promedio diverge y el comportamiento de la ocupación de los barrios se vuelve errática.





VI. Conclusiones

En el presente trabajo intentamos resolver una problemática económica actual mediante la ampliación del modelo del bar de Brian Arthur. El exceso de oferta de taxis en Barcelona nos incentivó a generar un modelo en el que las distintas zonas de la ciudad cumplen el rol de bares: los taxistas querían acceder a las zonas para trabajar, pero una región sobrepoblada de taxis les generaba desutilidad. Cada zona tenía una capacidad máxima de taxis para cubrir la demanda y los taxistas tenían una estrategia semanal que les indicaba a qué región concurrir cada día para trabajar, existiendo la posibilidad de tener días sabáticos.

Si no existieran costos de trasladarse de una zona a la otra, el exceso de oferta de taxis podría ser solucionado por los propios taxistas en el período de un año, ya que la ocupación de los barrios converge al umbral de capacidad máxima de las regiones. En dicho caso, el exceso de oferta de taxis sería inferior a 3%.

La existencia de costos en el manejo de taxis no imposibilita la convergencia ni la reducción de la oferta, pero reduce la utilidad de los trabajadores, pues les es difícil optimizar sus estrategias en un escenario más complejo que el anterior. Un aumento significativo en dichos costos puede llegar a generar que el promedio de utilidades de los agentes sea negativo. De hecho, si se quisiera poner en práctica este modelo es dudoso que los taxistas estén dispuestos a aplicarlo y tener desutilidades durante un año entero sólo con el objetivo de reducir el exceso de oferta. En otras palabras, el modelo

no sería sostenible política u económicamente si los costos de traslado fueran demasiado altos para los taxistas.

Mediante el modelo, también observamos que situaciones aleatorias como épocas de lluvia confunden a los agentes de manera tal que los movimientos en las ocupaciones de los barrios se incrementen. Por otro lado, si permitimos que muchos agentes cambien sus estrategias a la vez, hay divergencia en la utilidad promedio, aunque no siempre en las ocupaciones de los barrios.

En resumen, el modelo que presentamos permite solucionar el exceso de taxis en Barcelona bajo un contexto en el que los costos de traslado son bajos y los individuos están dispuestos a seguir las reglas de actualización que les plantea el modelo a lo largo de un año. Sin embargo, la coordinación requerida por el modelo parece difícil de llevar a la práctica.

VII. Referencias

i) Referencias académicas

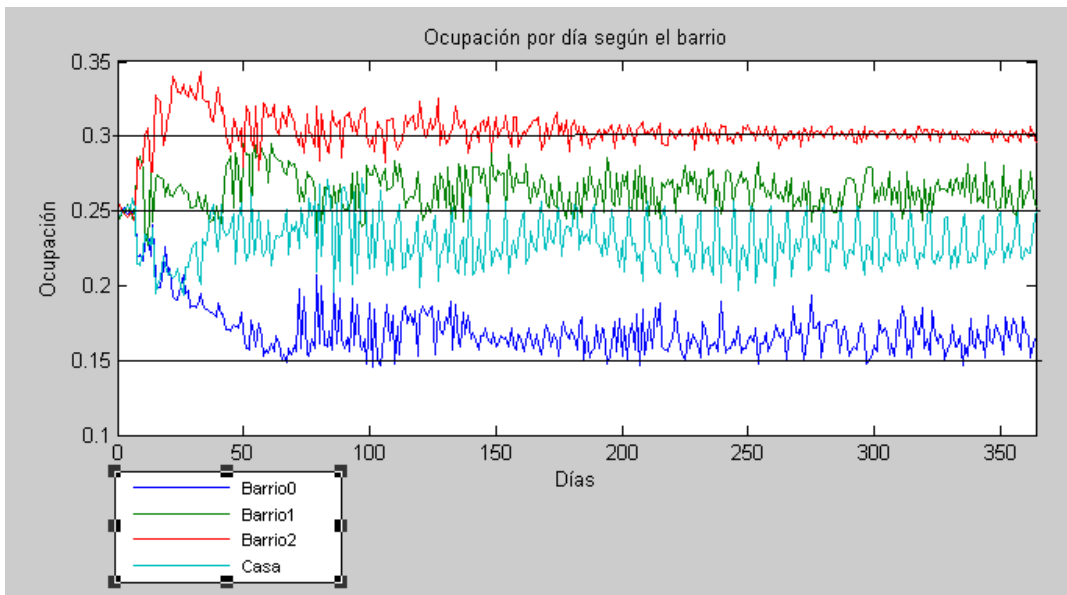
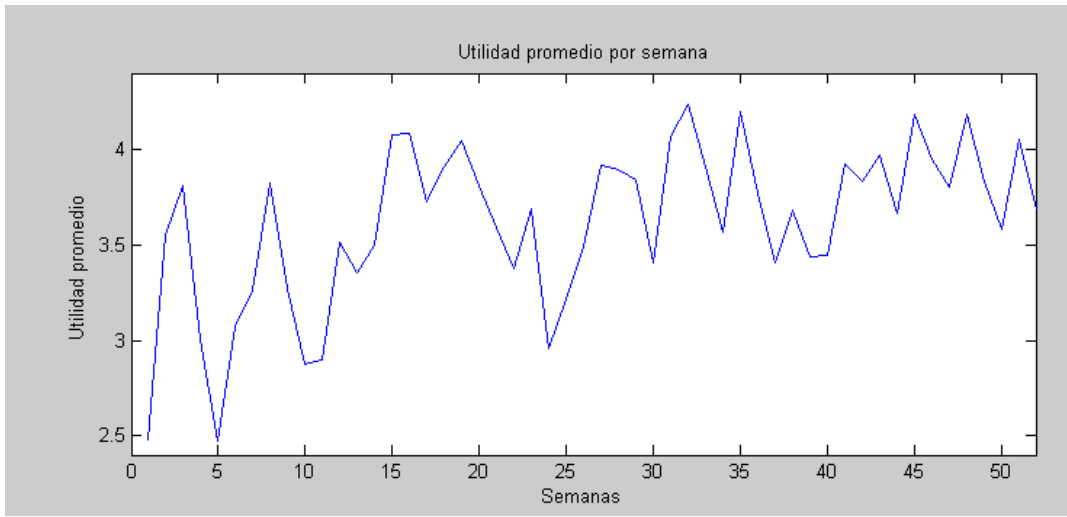
- Arthur, B. (1994), “*Inductive reasoning and bounded rationality*” A.E.A. Papers and procedures 84, 406-411.
- Colin Camerer, Linda Babcock, George Loewenstein and Richard Thaler, *Labor Supply of New York City Cabdrivers: One Day at a Time*, The Quarterly Journal of Economics, Vol. 112, No. 2, (Mayo, 1997), pp. 407-441.
- Heymann, D.; Perazzo y Zimmermann M. G. (2011) “*Modelos económicos de múltiples agentes: Una aproximación de la economía desde los sistemas complejos*”.

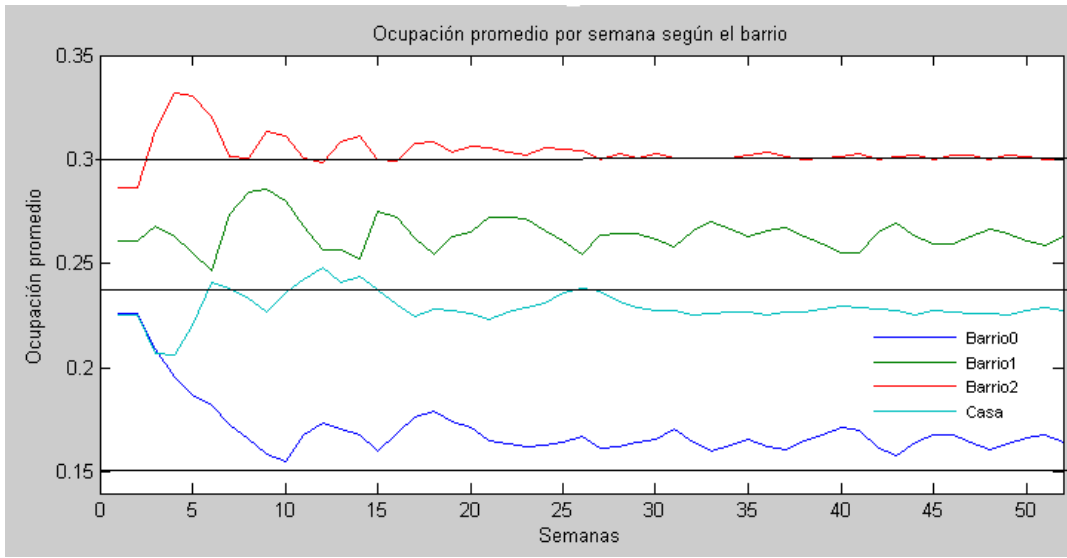
ii) Referencias periodísticas

- Camilo S Baquero y Rebeca Carranco, *La crisis dispara tensiones de tinte xenófobo entre taxistas de Barcelona*, El País, 23/08/2012, disponible en: http://ccaa.elpais.com/ccaa/2012/08/23/catalunya/1345750089_724785.html.
- García Vázquez, David, *Los taxistas van por libre*, El País, 11/01/2013, disponible en: http://ccaa.elpais.com/ccaa/2013/01/11/catalunya/1357935888_940974.html
- *Los taxis colapsan las paradas de Barcelona por falta de clientes*, La Vanguardia, 11/04/2012, disponible en: <http://www.lavanguardia.com/vida/20120411/54284068617/taxis-colapsan-paradas-barcelona-falta-clientes.html>).
- *La oferta de taxis en las ciudades es mayor que la demanda real*, Teinteresa.es, 04/07/2012, disponible en: <http://www.teinteresa.es/buscador/?text=la+oferta+de+taxis+en+las+ciudades>
- *Nuevos turnos para los taxis de Barcelona*, El Mundo, 02/10/2012, disponible en: <http://www.elmundo.es/elmundo/2012/10/02/barcelona/1349194800.html>
- *Los taxistas extranjeros en Barcelona aumentan y ya son uno de cada seis chóferes*, La Vanguardia, 21/01/2013, disponible en: <http://www.lavanguardia.com/local/barcelona/20120814/54336682121/aumentan-taxistas-extranjeros-barcelona.html>
- Datos Macro. Series históricas de los principales datos de macroeconomía publicados en cada país disponibles en www.datosmacro.com.
- Numbeo Doo. Sitio de datos que le permite comparar el costo de vida en su ciudad con otras ciudades del país y del mundo disponible en www.numbeo.com/taxi-fare.

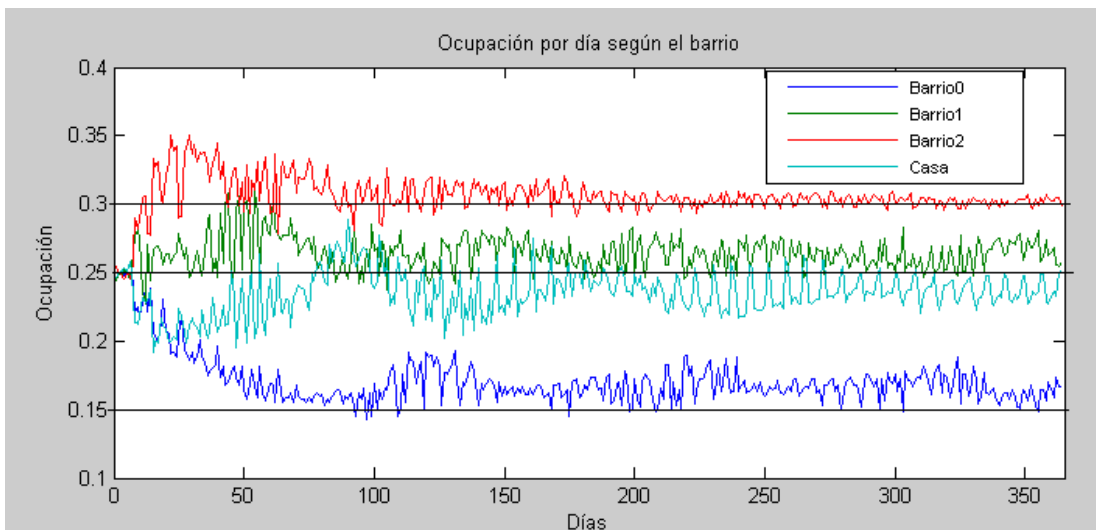
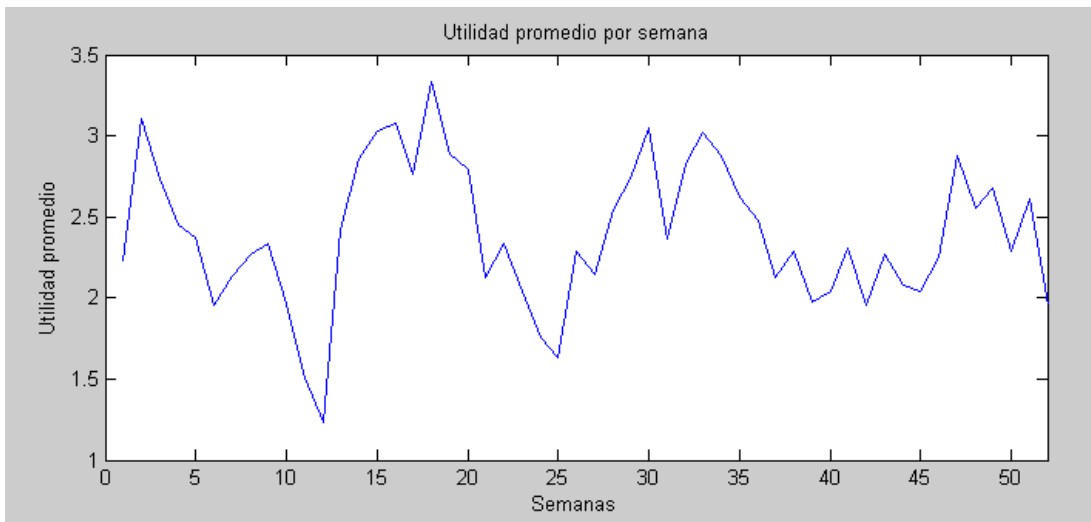
VII. Apéndice

Modelo sin costos (pevol=0,3):

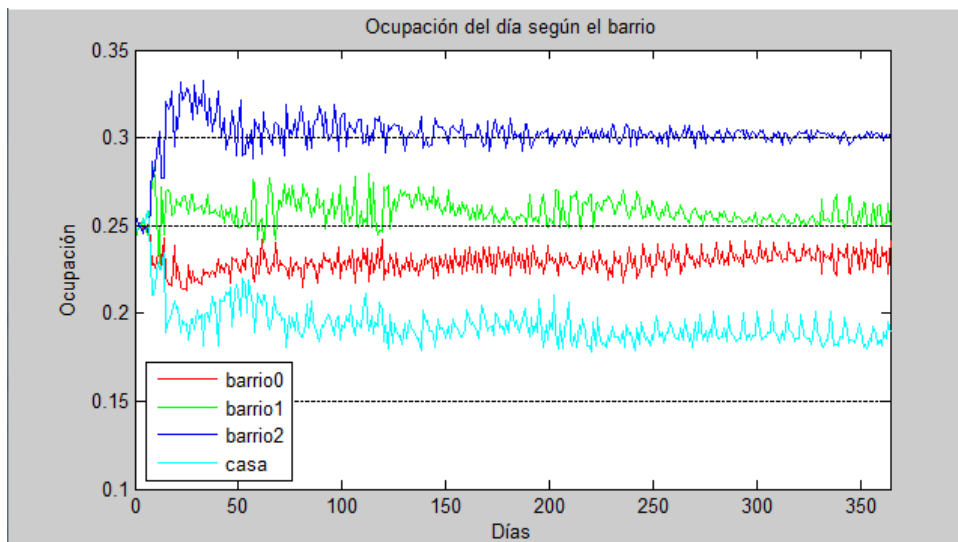
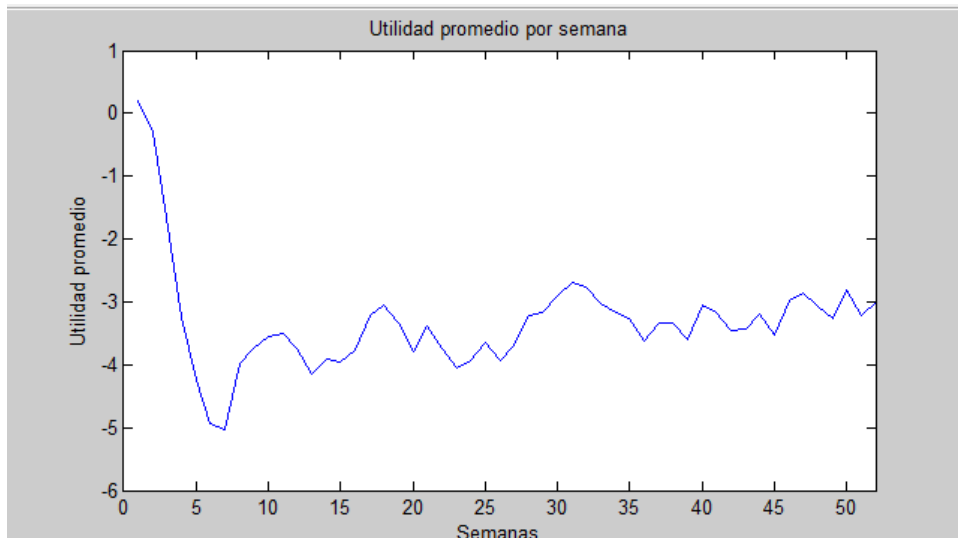




Modelo con costos constantes de traslado (pevol=0,3):



Modelo con costos marginales decrecientes de traslado (pevol=0,30):



Modelo con costos constantes de traslado y lluvias (pevol=0,3):

