

TRABAJO FINAL DE RACIONALIDAD LIMITADA

LA TASA NATURAL DE DESEMPLEO EN MERCADOS DE TRABAJO INFORMALES: UN ENFOQUE DESDE ALGORITMOS GENÉTICOS

Tomás E. Azzali[†]

Max César[¤]

María Belén Bazano Sammartino[‡]

Juan Martín Schicht^{*}

Abstract

El presente trabajo propone un enfoque alternativo de modelación de la tasa natural de desempleo en mercados laborales informales. Se basa en el juego de la minoría y aplica algoritmos genéticos, como método de aprendizaje, con el objetivo de encontrar un nivel de desempleo de largo plazo. Se estudian algunas propiedades de la convergencia en algoritmos genéticos y se las compara con un *benchmark* basado en estrategias focales. Los resultados son consistentes con la idea de que la tasa de desempleo puede tender a niveles constantes de largo plazo, aún ante la existencia de mecanismos de aprendizaje.

[†] tomiasazzali@hotmail.com

[¤] mcesar01@gmail.com

[‡] bbazano@gmail.com

^{*} juanschicht@gmail.com

SECCIÓN I: INTRODUCCIÓN

Gran parte de la literatura sobre mercados laborales producida en economías desarrolladas está enfocada en el estudio de fenómenos que ocurren en el marco de instituciones formales. Esta característica es comprensible, ya que una parte importante de la actividad económica en estos países se lleva a cabo en dichos contextos. Sin embargo, en países subdesarrollados, una fracción no menor de los intercambios laborales se realiza en el marco de mercados informales (Gasparini y Tornarolli, 2007).

Resulta de interés, entonces, conocer de forma más precisa el funcionamiento de los mercados laborales informales, para entender algunos de los mecanismos particulares que los caracterizan. Gran parte de los resultados que se observan a nivel agregado en economías en desarrollo, como el nivel y la tasa de desempleo, estarán afectados por el tipo de interacciones específicas dentro de estos mercados¹.

El presente trabajo propone un enfoque alternativo de modelación de la tasa natural de desempleo en mercados laborales informales. No pretende ser un análisis exhaustivo de la totalidad de los determinantes del desempleo, ni de sus consecuencias; sino que busca explicar cómo ciertas reglas de interacción específicas pueden generar resultados agregados observables en el campo de estudio relevante.

Es necesario precisar el sentido del término “informal”, ya que dada la ambigüedad del término, su utilización puede generar confusiones. Fields (2005) marca dos grandes grupos de definiciones a los que han aludido los investigadores con el uso de la palabra “informal”: En primer lugar, la definición “productiva” que enfatiza la baja productividad y calificación de los trabajadores y el tipo de trabajos en los que participan; en contraste con un sector más moderno, dinámico e industrial, denominado formal. En segundo lugar, la definición “legalista” que enfatiza el tipo de contratos, la evasión de impuestos y la falta de protección social de los trabajadores. Esta segunda interpretación es la que se busca destacar en este análisis, ya que se supondrá a lo largo del mismo un sistema de contratos de duración diaria como característica distintiva del mercado. Los empleos pueden ser considerados de alta o baja productividad, ya que no resultará una característica distintiva del modelo.

La variable en la que se centrará el análisis es la tasa de desempleo. Se sugiere que la tasa de desempleo debe ser interpretada como la tasa natural con el fin de remarcar la ausencia de componentes cíclicos que, en el corto plazo, puedan afectar estabilidad de la misma. Asimismo, se espera encontrar algún grado de convergencia luego de varias iteraciones a un nivel de equilibrio de la variable; lo que permitiría asociar la tasa de desempleo con su nivel natural.

¹ Otro campo de estudio interesante, pero que no podrá ser tratado en el presente trabajo, es el que se relaciona a las decisiones de participación en mercados informales, en lugar de su estructura. Galiani y Weinschelbaum (2006) realizan aportes a la modelación de este tipo de decisiones.

Este trabajo se nutre de dos líneas de investigación previas: en primer lugar, de la relacionada a los modelos de búsqueda aplicados a mercados laborales. Dentro de este *framework*, las fricciones en la búsqueda son incorporadas de forma explícita. Las mismas surgen a raíz de la existencia de costos y la dificultad para conseguir información relevante para realizar transacciones en el mercado laboral. Rogerson et al. (2005) sugiere un ejemplo:

Perhaps the most basic application of search theory concerns a worker looking for a job, when there is a known distribution of wages offered by different employers, but he does not know which employer is offering which wage. The worker therefore has to search, or sample, from this distribution. The key economic question here is how many employers should he contact before accepting a job? If sampling takes place at a fixed rate over time, his optimal search strategy is straightforward: there is a reservation wage w_R , defined by a simple condition, such that he should accept the first over above w_R . This value depends on many aspects of the problem, including properties of the wage distribution, income from unemployment insurance, the frequency at which he gets income from unemployment insurance, the frequency at which he gets to sample offers, and so on.

En segundo lugar, de la relacionada a los modelos de racionalidad acotada. Este tipo de esquemas plantean agentes con creencias subjetivas, que normalmente difieren entre sí y que son utilizadas para tomar decisiones, como marca Arthur (1994). Estas creencias surgen a partir del razonamiento inductivo de los mismos, quienes enfrentan límites informativos y límites en su capacidad de razonamiento. Además las limitaciones de los otros agentes afectan las capacidades de cada uno. Las heurísticas que los individuos utilizan para desarrollar estrategias o acciones se basan en reglas simples o surgen de su propia experiencia. Pueden ser utilizadas, descartadas o ir evolucionando de acuerdo a los mecanismos de aprendizaje que se apliquen. A diferencia de lo que ocurriría si se supusiera el tipo de racionalidad clásica, las reglas de decisión no implican, aquí, una racionalidad perfecta, lógica y deductiva.

A continuación, se describe la forma en que se estructura el trabajo.

La sección II describe el modelo, menciona los supuestos y presenta algunas definiciones formales. La sección III es el núcleo del trabajo, ya que presenta el desarrollo del modelo y los principales resultados. Está subdividida en tres apartados: El primer apartado expone los resultados suponiendo estrategias focales; el segundo muestra la evolución del modelo con algoritmos genéticos y salario exógeno; el tercero mantiene los algoritmos genéticos, pero toma el salario como endógeno. En todos los casos se realizan algunas estáticas comparativas relevantes. El modelo sugiere que existe convergencia a la tasa de desempleo de equilibrio, luego de algunas iteraciones, ante cualquiera de las estrategias y niveles de exogeneidad del salario propuestos. Por otro lado, el movimiento de los parámetros genera predicciones esperables. Un resultado importante es la persistencia de *rentas* en esquemas adaptivos, así como la paulatina desaparición de oportunidades de arbitraje cuando el salario se determina dentro del modelo. La sección IV presenta las principales conclusiones del experimento.

SECCIÓN II: EL MODELO

El setup del modelo es un *juego de la minoría*, basado en el trabajo inicial de Arthur (1994). En nuestra interpretación, N agentes pueden concurrir o no al mercado laboral diario, como si se tratara de una economía de *Day Labour* o “changas” diarias. Cada agente cuenta con un conjunto de estrategias semanales que especifican si debe concurrir o no al mercado, para cada día de la semana. Dichas estrategias pueden ser focales, como se supondrá al comienzo del modelo, o basarse en algoritmos genéticos, como se supondrá hacia el final.

Las estrategias focales consisten en anticipar la concurrencia al mercado laboral en base a predictores fijos. Para ello se toma en cuenta la asistencia total al mercado en los últimos m días. Cada agente cuenta con un vector de ponderadores, que estipulan qué importancia se le dará a cada día en la construcción del índice de predicción, (i.e. predictor). Los ponderadores surgen aleatoriamente y son distribuidos entre los agentes, al comienzo del juego, y no tienen posibilidad de ser actualizados a lo largo del mismo.

Los algoritmos genéticos, en cambio, se actualizan al final de cada iteración de acuerdo al *fitness* que han demostrado en la iteración previa. Cada jugador cuenta con un conjunto de estrategias (cromosomas) que estipulan las acciones que debe tomar (concurrir o no al mercado) para cada día de la semana. Los cromosomas cambian de forma parcial con una probabilidad, a través de dos mecanismos, cruza y mutación, que se describirán en detalle en la sección correspondiente.

La demanda laboral está fija, al existir S trabajos para la totalidad de agentes que han decidido concurrir al mercado ese día. Los trabajadores potenciales incurren en un costo si van al mercado, que será “pérdida” si no consiguen trabajo, o será descontado de su salario en caso contrario. Este salario será en primer lugar exógeno, y luego se incorporará al modelo.

Se suponen agentes independientes que no se comunican entre sí, ni cooperan. Todos los agentes cuentan con la misma cantidad de información, consistente en los niveles de concurrencia al mercado ocurridos y el salario de mercado.

II. I. DEFINICIONES

Predictores

Un predictor consiste en una función que mapea la información de las últimas q concurrencias en una predicción entera de la próxima concurrencia.

Formalmente, P es un predictor que si $P: [0, N] \xrightarrow{q} [0, N]$

Una estrategia, en este contexto, es una función que va del conjunto de posibles historias q al conjunto de acciones. Más formalmente, a es una estrategia si $a: [0, N] \rightarrow \{\text{concurrir}, \text{-concurrir}\}$. Cada estrategia puede ser considerada el resultado de

las instrucciones de un predictor. Sin embargo, para una estrategia a y un conjunto de q concurrencias pasadas pueden existir muchos predictores que indiquen la misma acción.

Algoritmos genéticos

El modelo computacional que representa un proceso evolutivo darwiniano.

1. Se parte de una población inicial, en la cual cada individuo cuenta con un genoma (colección de cromosomas), que estipula las acciones que debe llevar a cabo en cada día de la semana.
2. Cada individuo utiliza sus cromosomas vigentes por algunos períodos, al principio a través de un mecanismo de selección aleatorio y luego a través de un sistema de selección basado en el desempeño de cada cromosoma.
3. Se evalúa el fitness de todos los cromosomas y se selecciona a aquellos con el nivel más alto.
4. Se construye una nueva generación de secuencias a partir de las existentes, manteniendo los genes más aptos. Estos se pueden reproducir a través de una simple copia de la secuencia, mutación o combinación de dos secuencias. A este último mecanismo de reproducción se lo denomina *crossover*. El mismo consiste en:
 - a) Determinar dos secuencias, A y B, que se van a reproducir
 - b) Determinar aleatoriamente un punto de corte
 - c) Cortar las dos secuencias en el mismo lugar
 - d) Generar dos descendientes con combinando dos tramos de genomas distintos.

Lo fundamental de los modelos aquí descriptos es la incapacidad de los individuos de anticipar las jugadas de otros agentes, así como carecer del supuesto de conocimiento de racionalidad mutuo o común, de ahí que las tradicionales definiciones de equilibrios de Nash o equilibrios de subjuego perfecto no tengan cabida en este esquema. En un contexto de racionalidad acotada, los trabajadores no pueden calcular la optimización de todos los demás y por ello se limitan a “hacer lo mejor que pueden”, es decir, actualizar su predicción de asistencias en base a la información del pasado, o cambiar sus estrategias según su escala de “fitness” (en este contexto, utilidad agregada).

Se provee una descripción más detallada de ambos planteos en la próxima sección.

SECCIÓN III: RESULTADOS

3.1. ESTRATEGIAS FOCALES

3.1.1. SETUP Y VARIABLES BÁSICAS

En este apartado analizaremos los resultados del modelo cuando los agentes implementan estrategias focales. Como se mencionó en la introducción, en esta versión del modelo cada agente tiene un predictor, que se basa en un promedio ponderado de las asistencias de los m días de la semana correspondientes anteriores:

$$P_i(m) = \sum_{n=T-m}^{T-1} W(i, n)A(n) = A_{T-1}^i(T)$$

Aquí $W(i, n)$ es el ponderador de la semana n para el individuo i , T es la semana corriente, y $A(n)$ es la asistencia la semana n . m es la cantidad de semanas que los agentes tienen en cuenta para sus expectativas. Los ponderadores se obtienen aleatoriamente y se distribuyen uniformemente entre los individuos. Las acciones seguirán un patrón muy sencillo:

$$P_i(m) \geq S \rightarrow \text{no concurrir}$$

$$P_i(m) < S \rightarrow \text{concurrir}$$

De manera que, si el predictor indica que al día siguiente la asistencia superará la cantidad de oferentes de trabajo, el individuo no debe presentarse, y si ocurre lo contrario debe concurrir. Estamos pensando en un mercado informal, donde por cada oferente de trabajo se contrata un único individuo.

No se realiza ningún tipo de ranking con estos predictores; la actualización de estrategias ocurre sencillamente porque se tiene en cuenta la asistencia de los últimos periodos. Es por ello razonable esperar algún grado de convergencia.

Es importante aclarar algunos aspectos de la versión del modelo desarrollado aquí. Ir al mercado laboral tiene un costo “de búsqueda” o “de transporte”, que supondremos exógeno y fijo, el salario será en esta versión constante, exógeno y fijo, y la cantidad de desocupados se obtiene de manera sencilla: si concurren más de S trabajadores habrá exactamente $A(T) - S$ desempleados, lo que implica una tasa de desempleo de $u(T) = \frac{A(T)-S}{A(T)}$ ², mientras que si concurren menos de S , todos son empleados, lo que implica $u(T) = 0$.

Se agrega la restricción de que los individuos no pueden estar más de tres días sin presentarse al mercado laboral, por “necesidad” o subsistencia, independientemente de lo que les indiquen sus predictores. Esto es plausible en un mercado laboral informal.

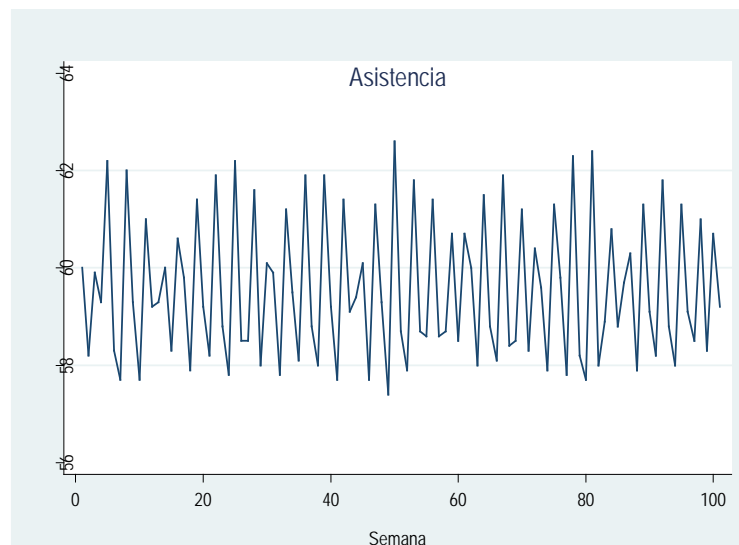
Notemos que, en este *setup* no es importante identificar qué individuos efectivamente se quedaron sin trabajo cuando la asistencia supera la “capacidad del mercado”. En un modelo

² Según la definición del INDEC: la tasa de desempleo es la cantidad de desempleados (individuos buscando trabajo que no lo consiguen) sobre la población económicamente activa (individuos en edad o con intenciones de trabajar). En este modelo sencillo, la PEA son aquellos individuos que están en busca de trabajo; la población *inactiva* son aquellos que no buscan trabajo ese día.

donde los agentes evolucionan, es necesario definir un *score* o un ranking de *fitness* según los pagos que otorga cada estrategia. Para ello, en un primer momento es necesario calcular los mismos; identificando cuáles de los individuos que superaron la capacidad no fueron contratados. En el siguiente apartado se define un tipo de randomización para lograr esto, que será explicada en detalle.

En los siguientes gráficos se pueden apreciar las series temporales de dos variables de interés: la asistencia y la tasa de desempleo. La iteración se realizó para 100 semanas, cada una de las cuales con 10 días. En este mercado particular, hay una población de 100 trabajadores (lo que facilita la definición de las tasas de desempleo), y una capacidad fija $S = 60$. Los ponderadores toman en cuenta la asistencia de las últimas 30 semanas únicamente. Los valores son promedios semanales:

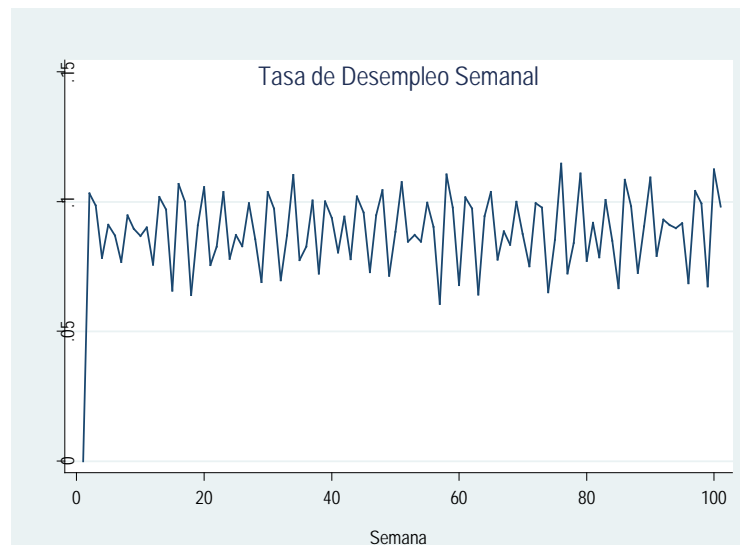
Gráfico 3.1: Asistencia con Estrategias Focales



La asistencia promedio se presenta en un rango relativamente corto alrededor de S , lo que revela algún grado de convergencia. La varianza de la misma se mantiene constante, indicando que la serie no converge de manera más precisa con el paso de las iteraciones. Esto es así porque los agentes sólo actualizan sus estrategias en base a las asistencias pasadas, lo que implica de alguna manera una correlación negativa entre estos valores: si la asistencia es alta las últimas semanas, es esperable que sea alta la próxima, lo que induce a los agentes a no presentarse al mercado, y viceversa. De ahí que el patrón sea tan marcadamente cíclico.

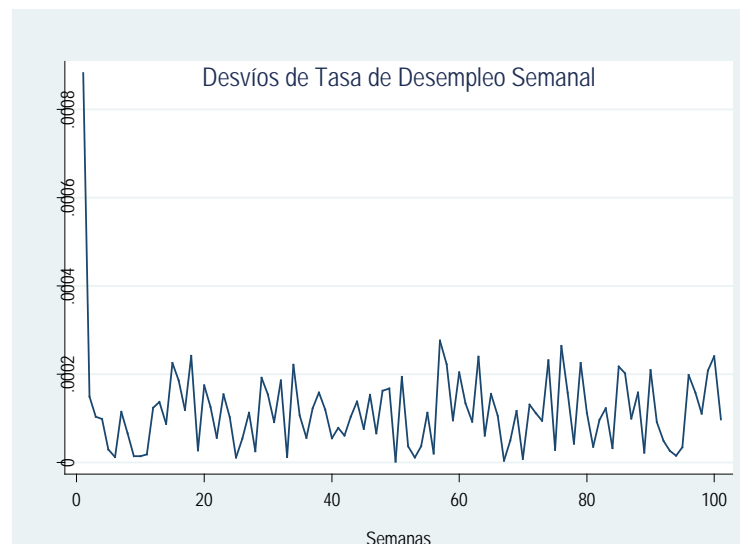
Bajo estos parámetros, la restricción que “obliga” a los individuos a presentarse no es tan restrictiva dado que se fijó el costo de búsqueda deliberadamente bajo, por lo que es poco probable que los individuos permanezcan mucho tiempo sin presentarse.

Gráfico 3.2: Tasa de Desempleo con Estrategias Focales:



En este gráfico podemos observar la tasa de desempleo semanal promedio en base a las estrategias aquí definidas. La tendencia es creciente en un principio, pero pronto los individuos convergen alrededor de una media del 8% semanal. Notamos lo mismo que en el gráfico anterior: una línea marcadamente cíclica, determinada por la manera en la cual están construidas las estrategias. Podemos ver que la convergencia no crece monotónicamente con el tiempo.

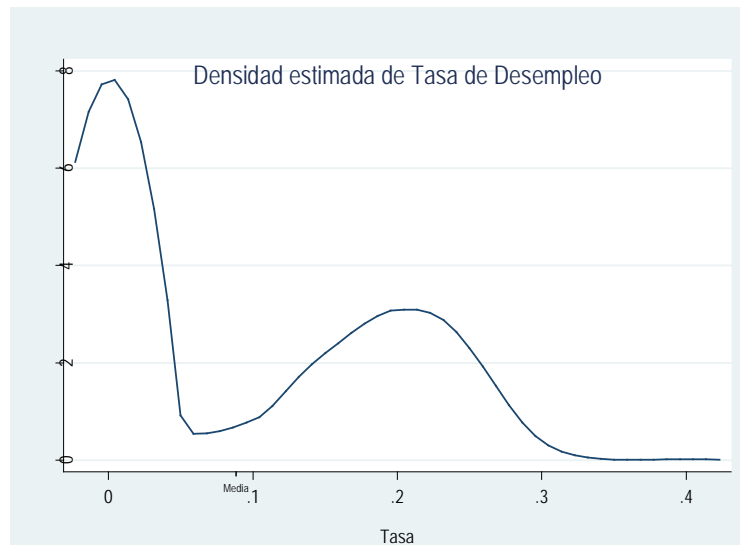
Gráfico 3.3: Desvíos de la Tasa de Desempleo Semanal:



Es posible apreciar que si bien los individuos predicen con menos errores (sobre todo después de las primeras diez semanas), los desvíos se mantienen en un rango pequeño por arriba de cero y no decrecen según el paso del tiempo.

Se incluye ahora una estimación por Kernels Epanechnikov de la tasa de desempleo según las realizaciones de los 1000 días en los que se repitió el ejercicio:

Gráfico 3.4: Densidad de la Tasa de Desempleo:



Bajo esta especificación vemos que las tasas siguen una distribución bimodal: los puntos parecen concentrarse alrededor del 0 y del 20%, si bien aquí hay una densidad menor. Esto es consistente con las estrategias descritas. Las predicciones llevan a los individuos a actuar de maneras similares. Tras algunas semanas de alta asistencia, los individuos esperan no encontrar trabajo en la siguiente iteración, por lo cual no se presentan y la tasa de desempleo baja. Sin embargo, mientras este comportamiento se repita para una masa de trabajadores lo suficientemente grande, al cabo de otras tantas semanas, muchos individuos se presentarán esperando menos asistencia, lo que conduce a tasas mayores, de ahí que la distribución tenga dos modas: una cercana a cero y otra mayor. Notemos que prácticamente no hay observaciones superiores al 40%: naturalmente no pueden presentarse más de 100 personas al mercado dado que esa es la población.

Lo que garantiza tasas menores al 40% es la heterogeneidad de los individuos, modelada aquí únicamente con los diferentes predictores que cada uno usa en la formación de expectativas. Teniendo en cuenta que cada individuo pondera diferente las asistencias de las semanas anteriores, es razonable pensar que las decisiones no tienen por qué ser homogéneas, a pesar de que *en promedio* los comportamientos agregados sean similares.

Este modelo se presenta con el propósito de utilizarlo como *benchmark* respecto a las versiones más sofisticadas que siguen ahora. Es importante destacar la *ausencia de evolución* en el sentido amplio de la palabra con estrategias focales. Los agentes no aprenden ni seleccionan sus estrategias periódicamente. Esto los conduce a mantener el valor de sus ponderadores constantes y cambiar sus predicciones solo en base a la actualización de asistencias.

En las siguientes versiones del modelo se incorporan algoritmos genéticos para apreciar el grado de convergencia de las variables y los comportamientos agregados cuando los individuos evolucionan.

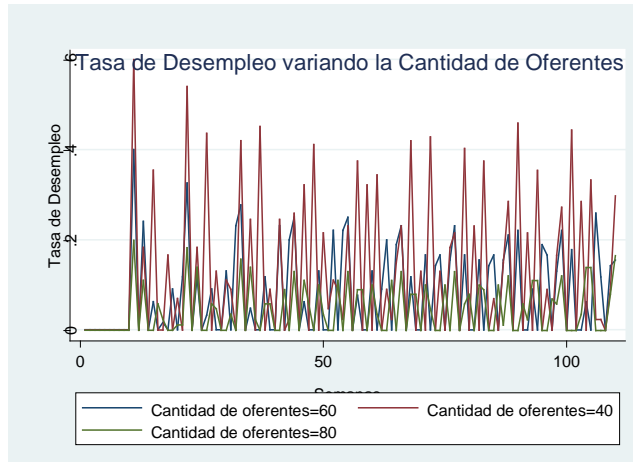
3.1.2. ESTÁTICAS COMPARATIVAS

A. Estática Comparativa cambios en la cantidad de Oferentes

En primer lugar, se estudiará el efecto de la variación de la cantidad de oferentes en la tasa de desempleo promedio. A mayor cantidad de oferentes se espera una reducción en la varianza y en los niveles de la tasa de desempleo.

Gráfico 3.5: Tasa de Desempleo con distinta Cantidad de Oferentes de trabajo:

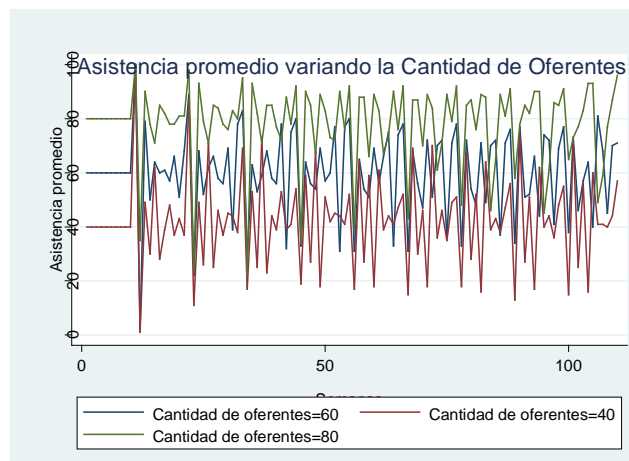
A menor cantidad de oferentes mayor será la variabilidad y el promedio de la tasa de desempleo. El mecanismo detrás de esto es la condición impuesta a los individuos que no pueden estar más de tres días sin ir a



buscar empleo. Entonces, aunque sepan que la cantidad de oferentes es baja y por lo tanto la probabilidad de ir y no conseguir trabajo es alta, se ven obligados a ir. Inversamente, cuanto mayor sea la cantidad de trabajo ofrecido, la condición deja de ser tan restrictiva pues los individuos ahora cuentan con un margen para asistir cuando le sea conveniente.

Por último, es relevante analizar el efecto de las variaciones de la cantidad de oferentes en la asistencia promedio al mercado de trabajo.

Gráfico 3.6: Asistencia con distinta Cantidad de Oferentes de trabajo:



Como puede verse, al incrementarse la cantidad de oferentes la asistencia promedio aumenta y disminuye su volatilidad. Nuevamente, esto se debe a que la restricción nombrada anteriormente va siendo cada vez menos operativa al aumentar la cantidad de trabajos disponibles. En cambio, es notable la gran variabilidad y los picos en la asistencia con una cantidad baja de oferentes. En este caso, muchas veces los individuos se ven obligados a asistir al mercado aún sabiendo que posiblemente no consigan trabajo.

3.2. ALGORITMOS GENÉTICOS: SALARIO EXÓGENO

3.2.1. SETUP Y VARIABLES BÁSICAS

En esta sección se estudiará la implementación de algoritmos genéticos al esquema recién descrito, es decir, se permitirá que los agentes evolucionen. En este apartado se trabajará con un salario fijo, normalizado en principio en 100. Este supuesto es un tanto fuerte, ya que presupone que no hay interrelaciones entre la demanda laboral y el salario. En el siguiente apartado se considerará dicho aspecto.

Los algoritmos genéticos funcionan análogamente al juego del bar, con algunas pequeñas diferencias. Los individuos tienen un set de estrategias, definidas aquí como diferentes *cromosomas*, un listado de ceros y unos que representan si el individuo debe ir o no debe ir al mercado laboral. Por ejemplo, para una semana de 10 días, se tiene un conjunto de k estrategias definidas para cada individuo i :

$$S_k^i = [1\ 1\ 1\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 1\ 1]$$

Esto es: si $S_{kj}^i = 1$ la estrategia k del individuo i le indica que debe presentarse el día j de la semana, si $S_{kj}^i = 0$ lo contrario. Cada individuo tiene un número fijo de estrategias, que irán evolucionando según el siguiente algoritmo:

3.2.1. En primer lugar, después de un número de semanas, el individuo calcula la utilidad agregada (o el fitness) asociado a cada estrategia.

3.2.2. Luego se rankean las estrategias en orden decreciente: el individuo busca implementar siempre aquella que le otorgó mayor utilidad.

3.2.3. Con una probabilidad determinada exógenamente, el individuo puede evolucionar. Esta evolución se da de dos maneras posibles:

a) **Mutación:** Aleatoriamente se toma un componente de cualquier cromosoma (excepto el primero) y se lo cambia (en este caso, sólo hay dos posibilidades: un 1 por un 0, o un 0 por un 1). Esta nueva estrategia se coloca al final de la lista, eliminando la anterior que ocupaba dicho lugar. Luego se rankean nuevamente los fitness de cada cromosoma y la iteración comienza nuevamente. Gráficamente:

$$S_1^i = [1\ 1\ 1\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 1\ 1]$$

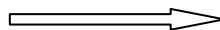


$$S_{1'}^i = [1\ 1\ 1\ 0\ 1\ 1\ 0\ 0\ 1\ 1]$$

b) **Corte y Cruza:** Se toman los dos primeros cromosomas del listado de un individuo, se les aplica un corte a cada uno y se rearmen los listados, obteniendo dos nuevas estrategias distintas:

$$S_1^i = [1\ 1\ 1] / [0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 1\ 1]$$

$$S_1'^i = [0\ 1\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 1\ 1]$$



$$S_2^i = [1\ 0\ 1\ 0\ 0\ 1\ 0] / [0\ 1\ 0]$$

$$S_2'^i = [1\ 0\ 1\ 0\ 0\ 1\ 0\ 1\ 1\ 1]$$

3.2.4. En base a las nuevas estrategias se elabora nuevamente el ranking y el individuo elige siempre aquella que le otorga mayor utilidad agregada.

En este modelo se dan los dos tipos de mutaciones, con una probabilidad determinada.

Las acciones transcurren análogamente al modelo de estrategias focales, con leves diferencias. Los individuos van o no al mercado de trabajo en base a la estrategia preferida. Si se presentan al mercado y no se supera la capacidad (S), la asistencia total es contratada, por lo que la tasa de desempleo es nula. Si se supera la cantidad, se debe determinar con exactitud quién consigue trabajo y quien no, puesto que es necesario para obtener los pagos. Si se supera S los individuos son contratados con probabilidad $\frac{S}{A(T)}$. De esta manera no es necesario modelar ninguna regla de contratación del estilo *first come first served*, que escapa al propósito de este análisis. El hecho de que el mercado se resuelva de manera probabilística da lugar a determinado tipo de competencia entre los aspirantes por los puestos escasos, y que un único oferente contrate más de uno o ningún agente, a la inversa de lo que sucedía en el apartado anterior. Es intuitivo suponer que esta probabilidad es decreciente en la cantidad de trabajadores. Los otros parámetros son los mismos que en el apartado de estrategias focales: el salario w , el costo de búsqueda c , la cantidad de semanas y de días por semana.

Los pagos se calculan en base a cuatro posibles *outcomes*:

-El individuo no se presenta al mercado laboral, lo que da lugar a dos posibilidades:

Se presentan menos aspirantes que oferentes, lo que implica que el individuo era contratado con probabilidad 1, y consecuentemente la pérdida del salario (neto del costo de transporte) que podría haberse obtenido.

Se presentaron más aspirantes que la capacidad del mercado, lo que implica una pérdida esperada ponderada por las probabilidades de conseguir y no conseguir trabajo.

-El individuo se presenta al mercado laboral, lo que da lugar a dos posibilidades:

Se presentan menos aspirantes que oferentes, de manera que obtiene el trabajo y gana exactamente el salario neto de costos de transporte.

Se presentan más aspirantes que la capacidad de mercado, de manera que gana el salario neto con una probabilidad, o pierde el costo de transporte en caso contrario.

Los pagos se pueden resumir en la siguiente fórmula:

$$U_i = (w - c)X_iY_i - cX_i(1 - Y_i) - (w - c)(1 - X_i)\frac{S}{A(T)}$$

Donde

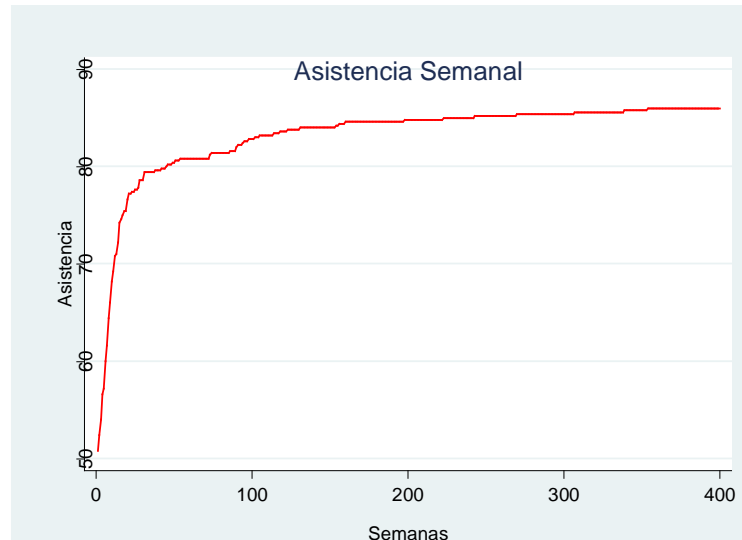
$$X_i = \begin{cases} 1 \rightarrow \text{si concurre} \\ 0 \rightarrow \text{si no concurre} \end{cases} \quad Y_i = \begin{cases} 1 \rightarrow \text{si es contratado} \\ 0 \rightarrow \text{si no es contratado} \end{cases}$$

En base a estos pagos se construyen los índices de *fitness*.

A partir de ahora se realizaron diferentes ejercicios en base al modelo básico. Para una población de 100 individuos, 400 semanas y 5 días a la semana, se obtuvieron diferentes parámetros se fijaron de la siguiente forma:

$$w = 100; c = 10; p_{evol} = 0,10; S = 60; k = 6$$

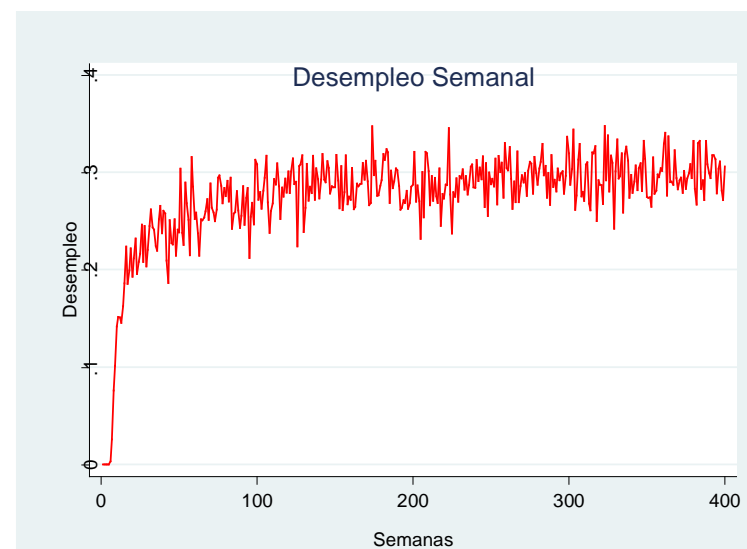
Gráfico 3.7. Asistencia Semanal con Algoritmos Genéticos



Es posible apreciar que la asistencia converge de manera mucho más regular que en el apartado anterior, y se fija alrededor de 85. Esto ocurre porque los individuos no se basan en *predictores* como antes. Aquí, en cambio, las estrategias se construyen en base a cromosomas que evolucionan según su fitness, lo que conduce a un patrón mucho más estable, sin los ciclos que presenta el esquema anterior. La asistencia es creciente porque los individuos encuentran progresivamente más atractivo presentarse al mercado de trabajo.

La contracara de esto es la tasa de desempleo:

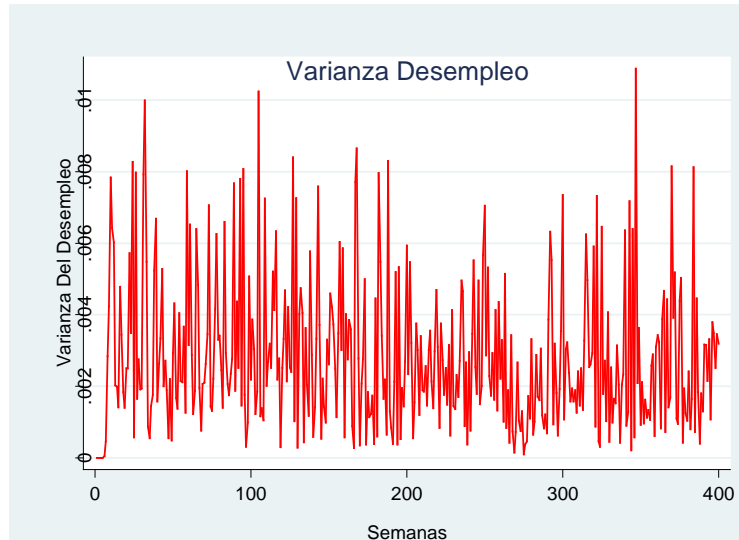
Gráfico 3.8. Tasa de Desempleo Semanal



La tasa de desempleo crece consistentemente hasta converger alrededor del 30%, con bastante ruido, reflejando los cambios en las estrategias de los individuos. La aleatoriedad que

se incluye en los pagos cuando se supera la capacidad del mercado (en la mayoría de las iteraciones) es en parte causante de este movimiento relativamente errático. Podemos apreciar los movimientos de la varianza:

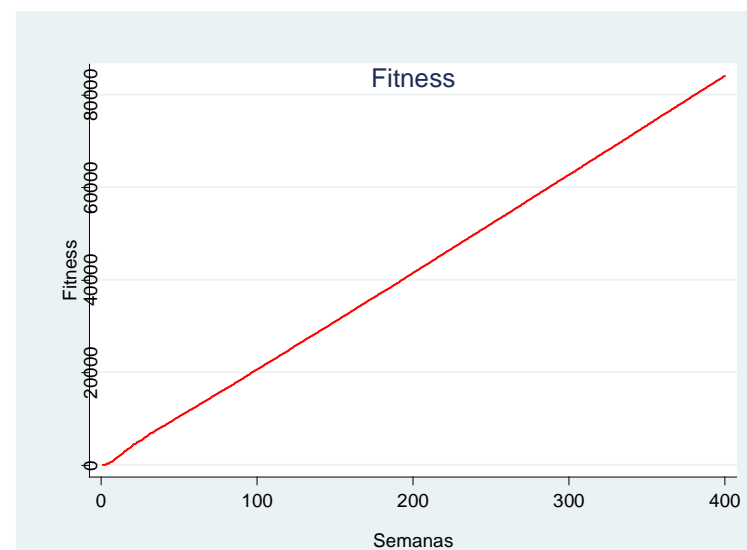
Gráfico 3.9. Varianza del Desempleo



La convergencia refleja el hecho de que los agentes actualizan sus estrategias según el ránking de fitness, pero aún así se presentan superando la oferta. Las ganancias esperadas de presentarse son mayores que las de no hacerlo, por ello la asistencia tiende a ser mayor que en estrategias focales, donde, al superar la capacidad había probabilidad nula de obtener un puesto de trabajo. La actualización de estrategias implica mayor varianza en las tasas.

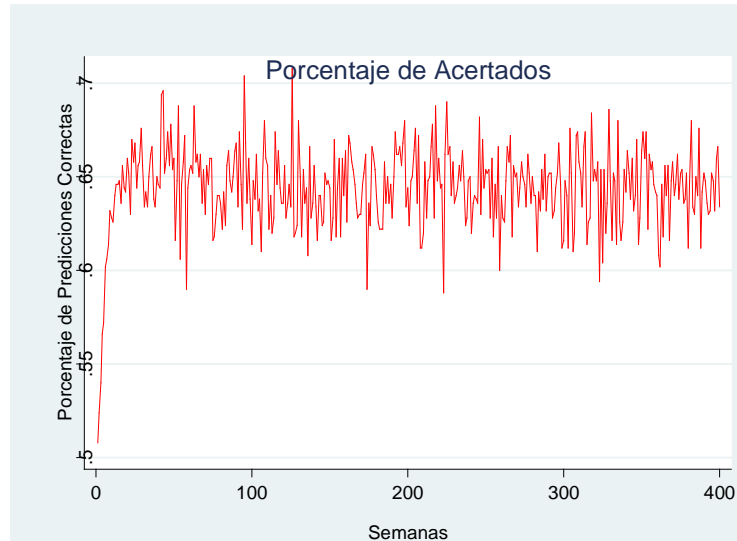
En el siguiente gráfico se observa la evolución del fitness agregado, que crece monotónicamente. Esto no es sorprendente; mientras los individuos evolucionen en promedio siempre los pagos se mantendrán positivos.

Gráfico 3.10. Fitness Agregado



Análogamente, es posible apreciar el porcentaje de “decisiones correctas” por periodo, esto es, la cantidad de agentes que se presentaron al mercado de trabajo y lo obtuvieron, junto con aquellos que no se presentaron, y en valor esperado no habrían conseguido.

Gráfico 3.11. Porcentaje de “acertados”



El porcentaje de los agentes que tienen una predicción correcta converge al 65%, lo que indica que los agentes tienen un aprendizaje, pero limitado, puesto que en todas las iteraciones hay individuos que no realizan la predicción correcta. Resumiendo estos gráficos, se presenta una tabla con los estadísticos básicos de cada variable:

Tabla 3.1. Estadísticas para cada variable:

Variable	Media	Error Estándar	Mínimo	Máximo
Asistencia	83,18	4,75	50,80	86,00
Desempleo	0,28	0,05	0,00	0,35
Fitness	41796,64	24342,40	7,20	84119.3
Porcentaje de "Acertados"	0,64	0,02	0,51	0,71

3.3. ALGORITMOS GENÉTICOS: SALARIO ENDÓGENO

3.3.1 SETUP Y VARIABLES BÁSICAS

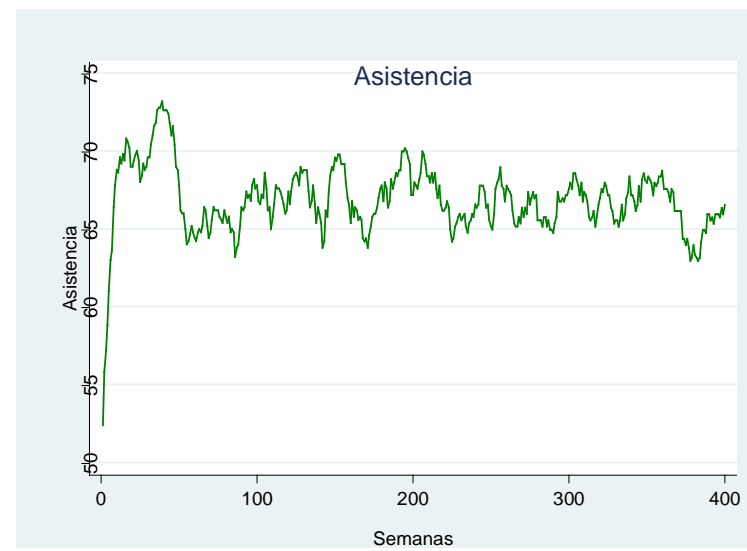
En este apartado se analiza una variante del modelo anterior. Aquí el salario pasará a ser una variable endógena del modelo. Decidimos realizar esta modificación porque no es muy razonable pensar que en mercados pequeños e informales como los analizados aquí este parámetro está fijo por alguna razón exógena; en cambio, el monto que los individuos reciben será en este apartado una función decreciente en la cantidad de individuos que se presentan al mercado. Esto se puede explicar intuitivamente: si los pagos surgen de una negociación entre agentes y oferentes, es razonable pensar que el poder de negociación de los mismos decrece con la asistencia.

De esta manera, normalizaremos el salario que se paga el día T según la expresión:

$w_{eq}(T) = \frac{I}{A(T)}$, donde I es un parámetro que puede representar *shocks de productividad*, *supply shifters*, (esto es, movimientos de toda la curva de oferta laboral) o tamaño del mercado. A mayor I el salario sube para cualquier valor de la asistencia. En este apartado, se fijó $I = N$, buscando capturar interacciones con el tamaño del mercado.

Para los siguientes gráficos se fijó el costo de transporte en 1, se realizó el ejercicio a lo largo de 400 semanas de 5 días cada una, la población se mantuvo en 100, pero la capacidad de mercado se redujo a 40 oferentes, para hacer explícitos algunos resultados cuando las contrataciones constituyen una minoría respecto a la población total.

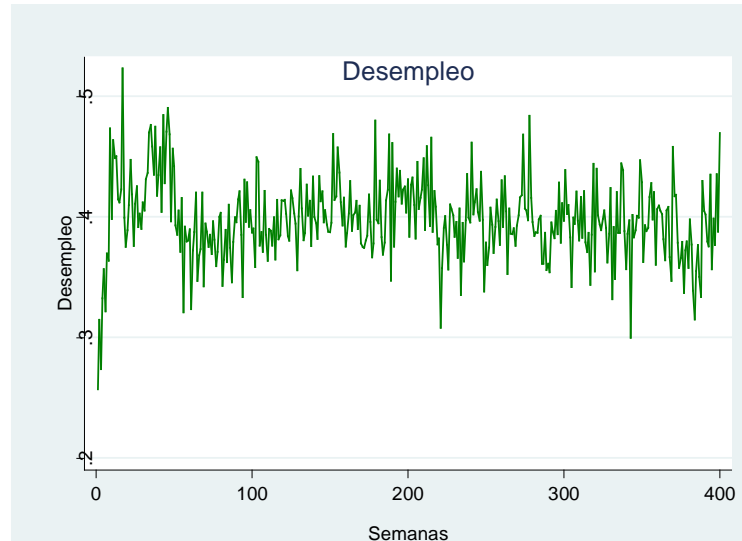
Gráfico 3.12: Asistencia



La asistencia tiende al 67% en este setup. Notemos que la varianza es ciertamente mayor que en el apartado anterior. Esto es así porque cuando se presentan menos agentes hay mayores oportunidades de arbitraje, es decir, hay mayores salarios en el mercado. Por ello aparece el patrón cíclico en la asistencia. Este gráfico se puede poner en paralelo con la serie de asistencia en estrategias focales: así como asistencias mayores conducían a asistencias menores

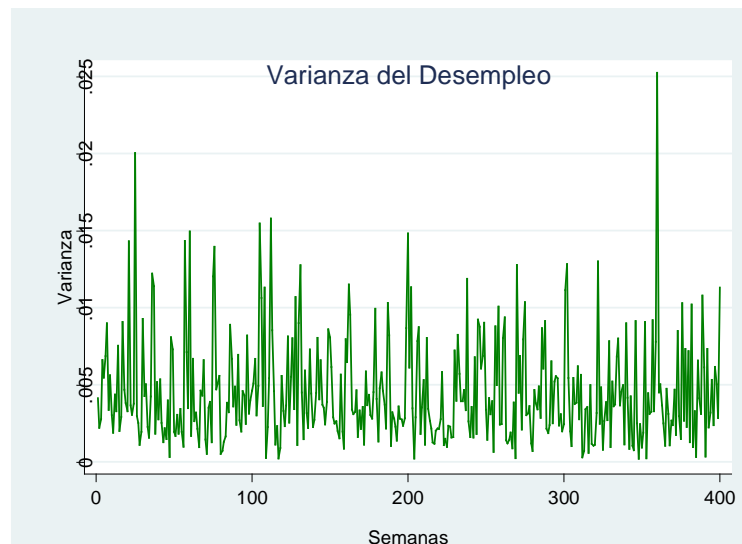
(correlación negativa) por causa de los predictores, en este punto el salario de equilibrio entra en la formulación del fitness y así condiciona el comportamiento de los individuos a este patrón cíclico.

Gráfico 3.13. Desempleo:



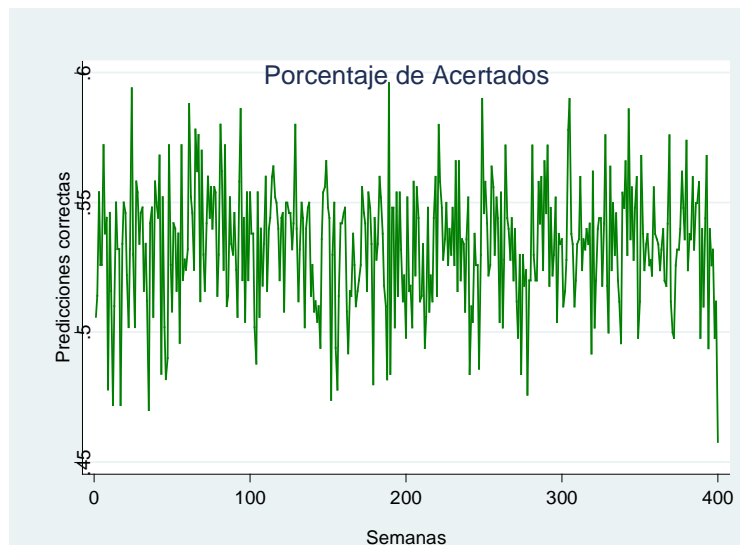
El desempleo tiende a una tasa del 40%, con una varianza relativamente menor al caso anterior. Esta tasa refleja de alguna manera el hecho de que los individuos tienen mayores variables de optimización, y son penalizados más duramente que en los apartados anteriores si no consiguen trabajo. Esto se debe a que el *spread* entre salario y costo de transporte se ha hecho mucho más pequeño, y variaciones pequeñas en la asistencia puede conducir a pérdidas mayores.

Gráfico 3.14. Varianza del Desempleo:



El hecho de que la varianza no se reduzca con el correr de las semanas refleja que los individuos no mejoran sus predicciones como lo hacían hasta el momento. De hecho, el porcentaje de “acertados” no crece para converger en un valor determinado: se mantiene en el amplio rango de 50% y el 60%.

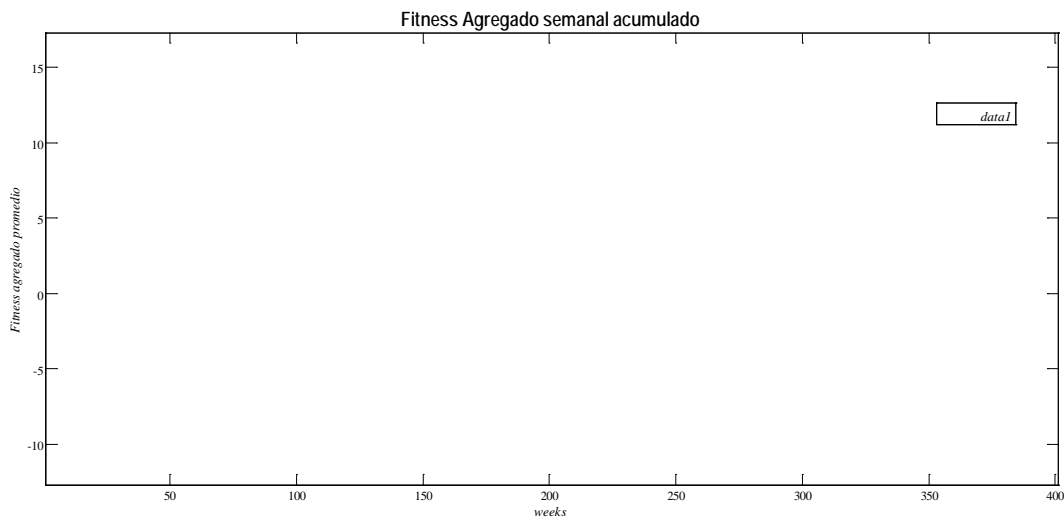
Gráfico 3.15. Porcentaje de Acertados:



Es difícil aquí que el número de aciertos crezca. Para una probabilidad de evolución relativamente pequeña, agregar dimensiones al problema conduce a que los individuos no consideren el outcome completo de la agregación de todas sus acciones. Es por ello, además, que el promedio es menor que con un salario fijo.

Es interesante, en este punto, analizar el comportamiento del fitness agregado promedio por semana.

Gráfico 3.16. Fitness Agregado:

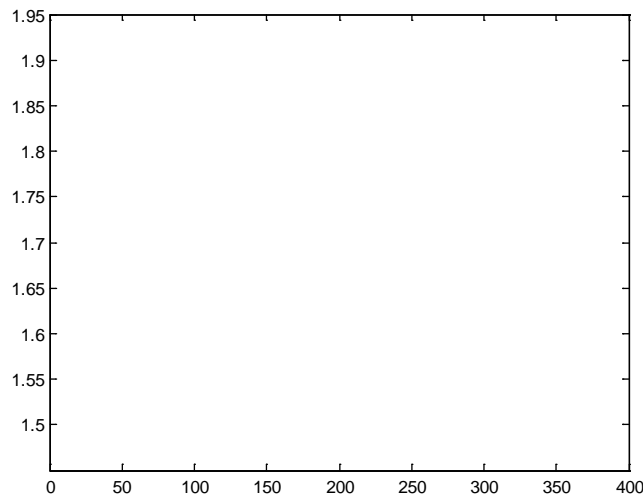


El Fitness agregado de los individuos es en primer lugar negativo, pero creciente. Dos parámetros determinan esto: la escasa oferta laboral relativa a la población total, y el escaso spread entre el salario y el costo de transporte. No significa que todos los agentes están perdiendo, sino que la mayoría de ellos tienen utilidades negativas cuando comienza la simulación.

Con el correr de las semanas, las ganancias tienden a cero. Esto refleja un hecho estilizado: a medida que los individuos evolucionan las oportunidades de arbitraje se extinguen. En otras

palabras, a medida que los agentes evolucionan, sus estrategias les indican presentarse al mercado laboral únicamente cuando el salario lo vale. Cuando todos siguen esta misma lógica, si bien ganan en el corto plazo debido a la heterogeneidad de estrategias, tienden a acercarse al cero. Dado que el fitness agregado toma promedios de todos los individuos, esto puede significar utilidades heterogéneas cancelándose entre sí o que la mayoría de los agentes tienen utilidades pequeñas. Para comprobar esto, se grafica la varianza entre individuos del fitness agregado:

Gráfico 3.17. Salario Semanal Promedio



En los gráficos anteriores se puede apreciar la varianza del fitness agregado y la progresión del salario con el correr de las iteraciones.

La varianza menguante permite suponer que en realidad los agentes están ganando en promedio menos, y no que se trata de una simple cancelación. Esto apoya la hipótesis de que las oportunidades de arbitraje se reducen con el correr de las iteraciones. El salario tiende a reducirse por la misma razón discutida recién: las oportunidades de arbitraje se reducen cuando los individuos evolucionan.

Para finalizar se presenta la tabla de estadísticos de las variables recién analizadas.

Tabla 3.2. Estadísticas por Variable:

Variable	Media	Desvío Estándar	Min	Max
Asistencia	66,87	2,18	52,40	73,20
Desempleo	0,40	0,03	0,26	0,52
Fitness	-108,04	227,10	-882,85	-11,02
Salario	1,51	0,07	1,47	2,03
Porcentaje de "Acertados"	0,53	0,02	0,46	0,60

3.3.2 ESTÁTICAS COMPARATIVAS

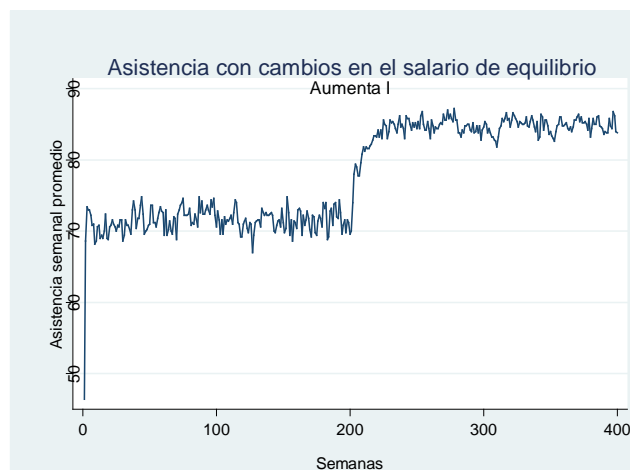
En esta sección se realizarán ejercicios de estática comparativa. El costo de oportunidad no es constante en este apartado porque depende del salario, endógeno en la asistencia diaria.

Al mismo tiempo, con el objetivo de estudiar shocks de productividad se elige un nivel base de $I = 540$. Este cambio puede conducir a beneficios extraordinarios por ir a buscar trabajo, por lo que se debe ajustar el parámetro de costo de búsqueda para que los pagos netos sean razonables.

3.3.2.1 Cambios en el *supply shifter*

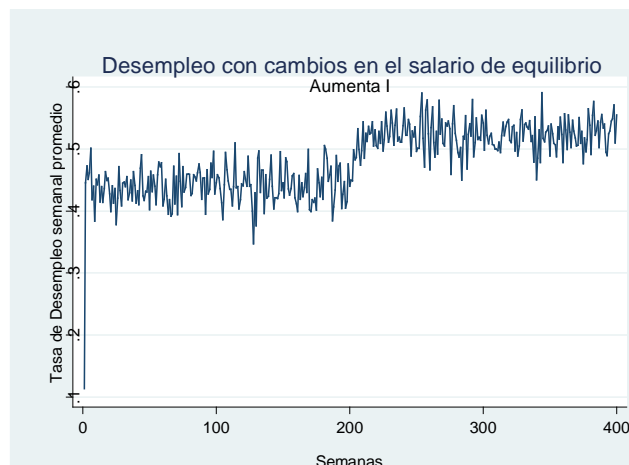
Una primera estática comparativa consiste en modificar el salario de equilibrio. A partir de las 200 semanas se produce un “shock de productividad” y el parámetro I pasa a valer 800.

Gráfico 3.18. Asistencia tras un shock de productividad.



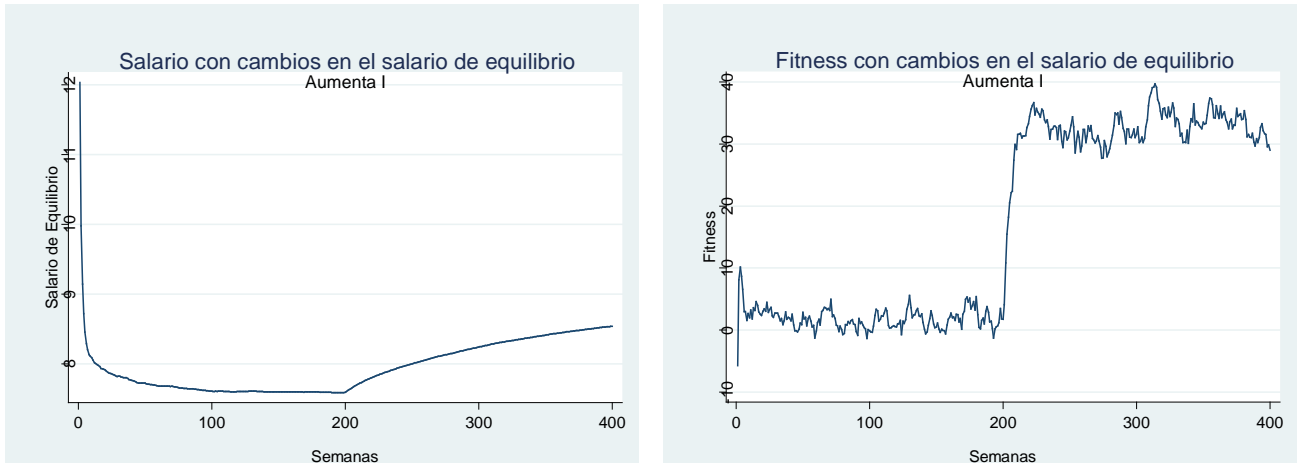
Notemos que la asistencia promedio sufre un salto en la iteración 200 a raíz del aumento de los beneficios netos originado por el shock de productividad. Cabe destacar que este cambio no es discontinuo: dado que los agentes actualizan sus estrategias progresivamente y evolucionan con una probabilidad, se llega al nuevo equilibrio con una pequeña demora. Este retraso es consecuencia de que no todos los individuos al mismo tiempo perciben el cambio.

Gráfico 3.19. Desempleo tras un shock de productividad



Teniendo en cuenta el gráfico anterior, resulta intuitivo el hecho de que la tasa de desempleo promedio aumente. Dado que la cantidad de oferentes se mantiene fija, y la asistencia aumenta como consecuencia de los mayores beneficios esperados, el desempleo aumenta. Notemos que en esta variable también el cambio es gradual, simbolizando la adaptación de los agentes.

Gráficos 3.20. y 3.21 Salario y Beneficios agregados tras un shock de productividad

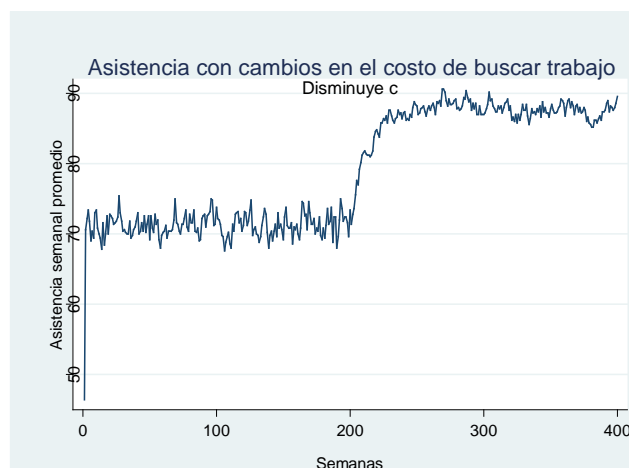


El salario de equilibrio sufre un doble efecto: mientras que el aumento de I tiende a incrementarlo, el shock positivo en la asistencia tiende a reducirlo. A partir del gráfico es posible deducir que el efecto que prevalece es el positivo. Dado que el mismo fue significativo, es esperable que el aumento en la asistencia no logre compensarlo. En parte, la causa de esto es la lenta evolución de los individuos y su actualización periódica de expectativas. En el caso de “perfect foresight”, todos los agentes al mismo tiempo “inundarían” el mercado disipando rápidamente las posibilidades de arbitraje. La adaptación de las estrategias implica la posibilidad de mantener beneficios extraordinarios a lo largo del tiempo.

3.3.2.2 Cambios en el costo de búsqueda de trabajo

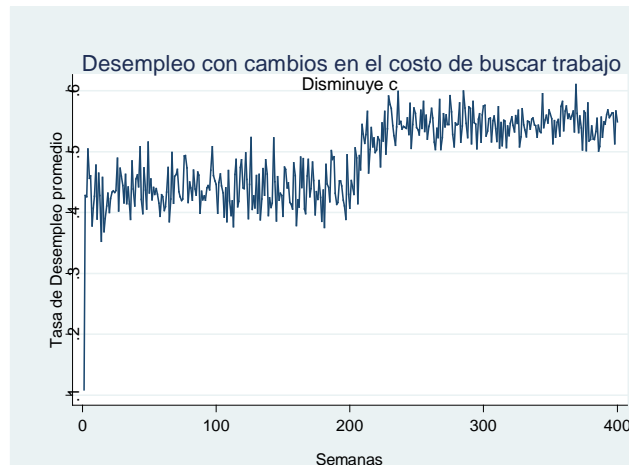
Una segunda estática comparada podría ser variar el costo de ir al mercado a buscar empleo. Nuevamente, a partir de la semana 200 se cambia este parámetro por el nuevo valor $c = 3$.

Gráfico 3.22. Asistencia tras un shock al costo de búsqueda de empleo.



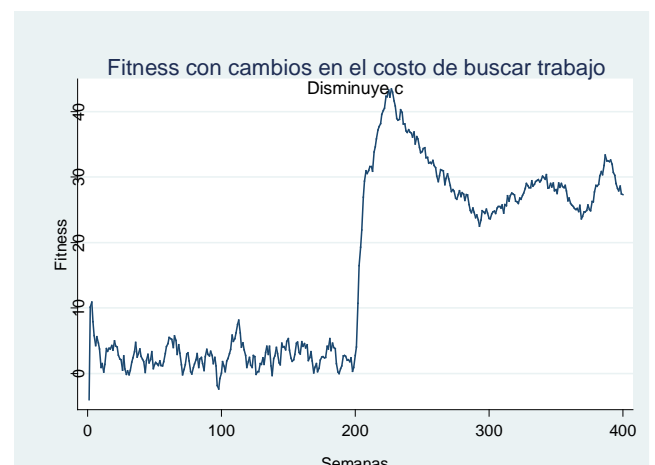
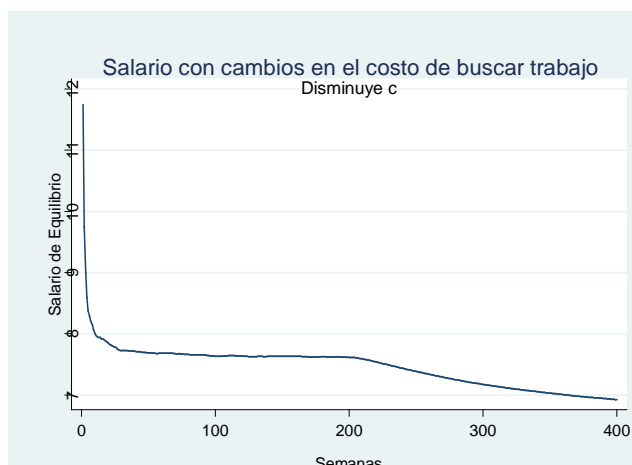
Nuevamente, en este nuevo ejercicio, la asistencia promedio sufre un salto en la iteración 200 a raíz del aumento de los beneficios netos esperados de ir a buscar empleo, al disminuir el costo de búsqueda. Este aumento es gradual pues depende principalmente de las siguientes dos cuestiones: la probabilidad de evolución de las estrategias de los individuos, y el hecho de que para que los individuos internalicen el cambio en este parámetro tienen que haber asistido al mercado laboral. Por ende, este proceso de aprendizaje toma tiempo.

Gráfico 3.23. Desempleo tras un shock al costo de búsqueda de empleo.



Considerando el gráfico anterior, al disminuir el costo de búsqueda aumenta la asistencia promedio, pues aumentan los beneficios esperados. Sin embargo, como se mantiene fija la contratación (cantidad de oferentes), consecuentemente la tasa de desempleo promedio debe aumentar. Claramente, este incremento será gradual debido al proceso de aprendizaje que conllevan los agentes.

Gráficos 3.24. y 3.25 Salario y Beneficios agregados tras un shock al costo de búsqueda de empleo.



Al disminuir el costo de ir al mercado a conseguir empleo, y manteniendo fijo el *supply shifter* (I), el salario de equilibrio disminuye rápidamente. El salario sufre un único efecto que es

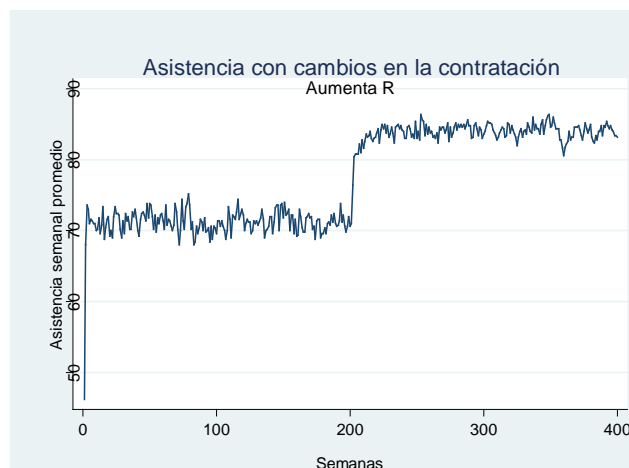
el del cambio en la asistencia: ante el cambio en c , aumenta la asistencia de los individuos al mercado. Consecuentemente, luego del shock el salario comienza a declinar rápidamente.

En relación a lo anterior, el Fitness promedio aumenta al disminuir el costo de búsqueda de empleo. La intuición detrás de este resultado es que, al mantener constante el *supply shifter* (I), se le da un mayor margen a los individuos a equivocarse y, por ende, a predecir mejor.

II.3.2.3 Cambios en el nivel de contratación

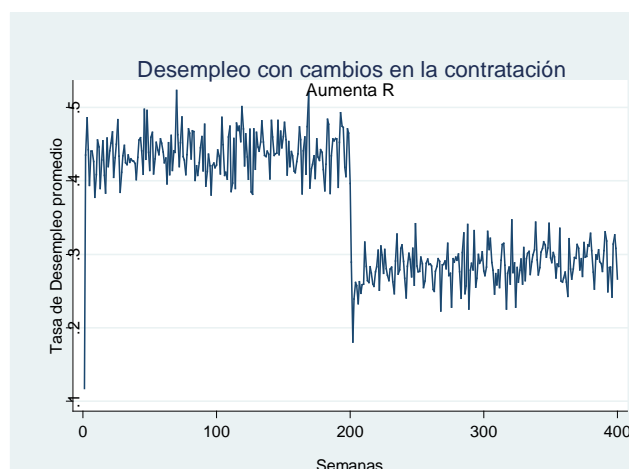
Tercero, se analizan variaciones en la cantidad oferentes de trabajo en el mercado laboral. A partir de la semana 200 el nuevo valor del parámetro será $R = 60$.

Gráfico 3.26. Asistencia tras un shock al nivel de contratación.



Al aumentar la contratación, la asistencia semanal promedio hace un salto y se incrementa rápidamente. Esto podría deberse a dos causas: por un lado, al haber mayor cantidad de oferentes de trabajo, los individuos tienen un margen mayor para ir al mercado (pues disminuye su probabilidad de equivocarse), y por otro lado, relacionado a lo anterior, sus beneficios esperados aumentan pues dado que asisten al mercado, tienen más chances de conseguir empleo. La adaptación de los agentes a este cambio parece ser gradual.

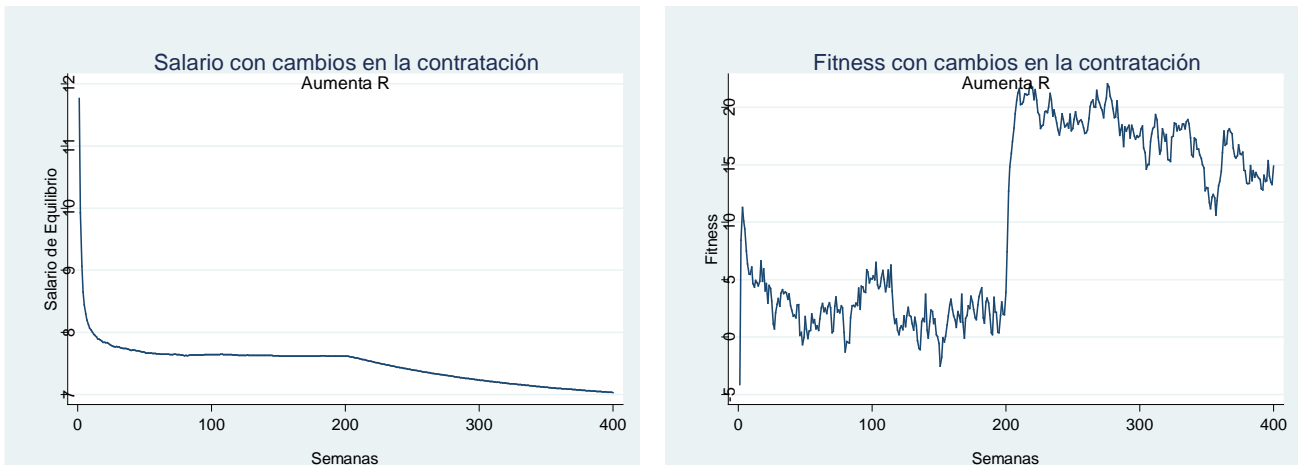
Gráfico 3.27. Desempleo tras un shock al nivel de contratación.



Ante cambios positivos en R , por definición, debe disminuir la tasa de desempleo promedio. Tiene sentido que esto suceda, pues la asistencia no sube tan rápidamente como lo hace el

número absoluto de desempleados (el numerador de la tasa de desempleo), debido al proceso de aprendizaje el cual lleva un tiempo.

Gráficos 3.28. y 3.29 Salario y Beneficios agregados tras un shock al nivel de contratación.



En línea muy similar al efecto de la última estática comparativa en el salario, en este caso, al aumentar la contratación en el mercado, se espera que disminuya el salario de equilibrio. Intuitivamente, al aumentar la cantidad de oferentes en el mercado, pero manteniendo fijo el *supply shifter* (I), aumenta la asistencia y, consecuentemente, disminuye el salario de equilibrio rápidamente luego del shock. La curvatura de esta caída se debe al aprendizaje de los individuos (la asistencia no aumenta con un salto discontinuo sino gradualmente).

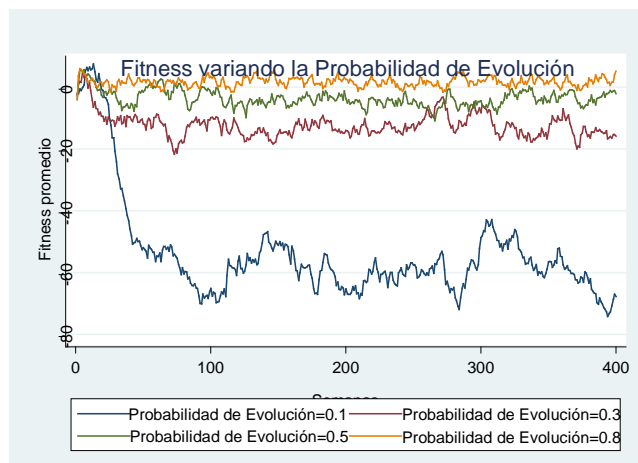
En cuanto al fitness promedio se podría distinguir un doble efecto. En primer lugar, al aumentar R asisten una mayor cantidad de trabajadores al mercado, pero se equivocan menos. Esto provocaría que el fitness promedio aumente. No obstante, por el otro lado, el salario de equilibrio disminuye ante el cambio en el nivel de contratación, por lo que se esperaría que los beneficios promedios disminuyan. De hecho, el efecto en el fitness es un rápido aumento en el momento del shock, pero luego se vuelve más confuso. En otras palabras, el fitness promedio aumenta cuando se produce el shock pero luego parecería que va estabilizándose nuevamente.

3.3.2.4 Variaciones en las Probabilidades de Evolución

Gráfico 3.30. Fitness promedio con distintas Probabilidades de Evolución.

Por último, se analiza la convergencia del fitness ante variaciones en las probabilidades de evolución de los cromosomas.

Observando el gráfico, se puede inferir que el algoritmo genético funciona adecuadamente. Al disminuir



la probabilidad de evolución, los individuos no logran aprender y su fitness cae notablemente. En cambio, con una probabilidad de evolución de 0.8 parecería que el fitness se mantiene mucho más estable, ya que los individuos tienen muchas chances de poder ir actualizando su perfil de estrategias, y por ende, de equivocarse menos.

SECCIÓN IV: CONCLUSIONES

Los principales resultados del experimento marcan ciertos patrones que consideramos importantes y destacamos a continuación.

En primer lugar, el modelo ha sido capaz de mostrar en todos los casos y luego de algunas iteraciones iniciales que la tasa de desempleo puede tender a niveles constantes a lo largo del tiempo. Este resultado es consistente con nuestra visión sobre la existencia de una tasa a la que convergería la economía en el largo plazo, a la que denominamos “tasa de desempleo natural”. Además, es un resultado robusto a variaciones en los parámetros del modelo y a adaptación en las estrategias de comportamiento.

En segundo lugar, la precisión con la que los agentes realizan sus predicciones varía de acuerdo al paso del tiempo y a la estrategia de aprendizaje. En el caso de las estrategias focales, si bien sus predicciones mejoran al principio de la corrida por cuestiones inherentes a la calibración de las estrategias, no existen mecanismos de aprendizaje que permitan disminuciones permanentes en la cantidad y varianza de los errores. En oposición, las estrategias basadas en algoritmos genéticos permiten una disminución permanente en la cantidad de errores con el paso del tiempo, gracias a la existencia de un mecanismo de aprendizaje. La variación en la probabilidad de evolución constituye una estática comparativa interesante en este sentido, ya que muestra que cuanto mayor sea el valor que tome, más rápida será la convergencia a mejores niveles de aprendizaje y mayor será el nivel de bienestar alcanzado (tomando al *fitness* como una medida de ello). Una posible interpretación de los resultados es la que asocia a la probabilidad de evolución con un *proxy* de la educación de los ciudadanos. Uno esperaría que a medida que esta crezca, el bienestar de la población aumente. Esto se cumple en el marco de algoritmos genéticos, puesto que el aumento de la probabilidad de evolución muestra una mejora sustancial en el nivel de *fitness*. Sin embargo, no queda claro que la evolución, como mecanismo de aprendizaje, mejore el bienestar poblacional. Algunas medidas como la tasa de desempleo de equilibrio son menores sin aprendizaje.

En tercer lugar, la determinación endógena del salario de equilibrio muestra patrones consistentes con la existencia de una suerte de mecanismo de arbitraje, que permite que las rentas asociadas a concurrir determinados días de la semana desaparezcan rápidamente. Quienes concurren al mercado cuando existen pocas rentas ajustan su comportamiento para concurrir días de altas rentas, haciendo que las pérdidas y las ganancias se reduzcan. Asimismo, se observa que con el correr del tiempo los individuos ganan menos en promedio, lo que sugeriría el agotamiento de las oportunidades de arbitraje.

En cuarto lugar, la estática respecto al *supply shifter* sugiere interpretaciones interesantes en relación a la definición que se hace del concepto de informalidad. En la introducción del trabajo, sugerimos que la idea de informalidad a la que hacíamos referencia estaba ligada a la duración

específica de los contratos y no al nivel de productividad del sector. Supusimos que los contratos podían ser de alta o baja productividad, sin perder generalidad. El trabajo muestra, sin embargo, la existencia de un parámetro para la modelización del nivel de productividad del sector como característica adicional de la informalidad, a través del *supply shifter*. Este parámetro se podría interpretar como un resumen de la cantidad de rentas a distribuir en forma de salarios o *proxy* de la productividad del sector. Ante aumentos de la productividad, el parámetro tomaría valores más altos, haciendo que el bienestar de los trabajadores mejore junto a los aumentos de salarios. De esta forma, la definición de informalidad del modelo se volvería más compleja.

Finalmente, proponemos una extensión para futuras líneas de investigación. Resulta natural endogeneizar el comportamiento de las firmas, aportando una dimensión de interacción estratégica adicional entre oferentes y demandantes. En este sentido, agregar trabajadores de alta y baja productividad y demandantes con información imperfecta de los tipos de los trabajadores constituiría un aporte interesante. La complejidad informativa de este *setup* y las múltiples interacciones hacen difícil predecir patrones en sus resultados. Constituye un interrogante abierto a futuros proyectos de investigación evaluar la viabilidad de la propuesta.

SECCIÓN V: REFERENCIAS

Arthur, W. B. (1994): “Inductive Reasoning and Bounded Rationality”, American Economic Review (Papers and Proceedings), 84, 406-411.

Brindle, A. (1991): “Genetic algorithms for function optimization”, Tesis doctoral, Universidad de Alberta, Canada.

Davis, L.(ed.) (1991): “Handbook of Genetic Algorithms”, Van Nostrand Reinhold, New York.

Fogarty, T.C. (1989): “Varying the probability of mutation in the genetic algorithm”, Proceedings of the Third International Conference on Genetic Algorithms, 104-109.

Gasparini, L. y L. Tornarolli (2007): “Labor Informality in Latin America and the Caribbean: Patterns and Trends from Household Survey Microdata”, Documento de trabajo CEDLAS Nro. 46.

Fields, G. S. (2005): “A guide to multisector labor market models”, World Bank Social Protection Working Paper No. 0318.

Galiani, S. y F. Weinschelbaum (2007): “Modeling Informality Formally: Households and Firms”, Documento de Trabajo CEDLAS No. 47.

Heyman D., Perazzo R., Zimmermann M. G. (2009) “Modelos económicos de múltiples agentes”, mimeo, UdeSA, UBA, ITBA.

Holland, J. (1975): “Adaptation in Natural and Artificial Systems”, University of Michigan Press, Ann Arbor.

Rogerson, R.; R. Shimer y R. Wright (2005) “Search-theoretic models of the labor market: a survey”, Journal of Economic Literature.