

ENSAYOS

Revista de Economía

Volumen XXIX, número 1

mayo de 2010

Artículos

The Theory of Storage and Price Dynamics of Agricultural Commodity Futures: the Case of Corn and Wheat

Guillermo Benavides Perales

Manejo sustentable del uso de agua y crecimiento urbano

Nicholas P. Sisto

The Evolutionary Processes for the Populations of Firms and Workers

Elvio Accinelli Gamba, Edgar J. Sánchez Carrera

Convergencia entre las economías de México y EUA

José Romero Tellaeche



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

Universidad Autónoma de Nuevo León

Facultad de Economía

Centro de Investigaciones Económicas



Universidad Autónoma de Nuevo León

Rector

Dr. med. Santos Guzmán López

Secretario General

Dr. Juan Paura García

Secretario Académico

Dr. Jaime Arturo Castillo Elizondo

Secretario de Extensión y Cultura

Dr. José Javier Villarreal Álvarez Tostado

Director de Editorial Universitaria

Lic. Antonio Jesús Ramos Revillas

Directora de la Facultad de Economía

Dra. Joana Cecilia Chapa Cantú

Director del Centro de Investigaciones Económicas

Dr. Edgar Mauricio Luna Domínguez

Editor Responsable

Dr. Jorge Omar Moreno Treviño

Editores Asociados

Dr. Edgar Mauricio Luna Domínguez

Dr. Daniel Flores Curiel

Dra. Cinthya Guadalupe Caamal Olvera

Dra. Joana Cecilia Chapa Cantú

Consejo Editorial

Alejandro Castañeda Sabido (Comisión Federal de Competencia Económica, México)

Dov Chernichovsky (University of the Negev, Israel)

Richard Dale (University of Reading, Inglaterra)

Alfonso Flores Lagunes (Syracuse University, EUA)

Chinhui Juhn (University of Houston, EUA)

Timothy Kehoe (University of Minnesota, EUA)

Félix Muñoz García (Washington State University, EUA)

Salvador Navarro (University of Western Ontario, Canadá)

José Pagán (The New York Academy of Medicine, EUA)

Elisenda Paluzie (Universitat de Barcelona, España)

Leobardo Plata Pérez (Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México)

Martín Puchet (Universidad Nacional Autónoma de México, México)

Patricia Reagan (Ohio State University, EUA)

Mark Rosenzweig (Yale University, EUA)

Ian Sheldon (Ohio State University, EUA)

Carlos Urzúa Macías († 2024) (Tecnológico de Monterrey, México)

Francisco Venegas Martínez (Instituto Politécnico Nacional, México)

Comité Editorial

Ernesto Aguayo Téllez, Lorenzo Blanco González (UANL, México)

Alejandro Ibarra Yúnez (Tecnológico de Monterrey, México)

Vicente Germán-Soto (Universidad Autónoma de Coahuila, México)

Raúl Ponce Rodríguez (Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México)

Ignacio de Loyola Perrotini Hernández (Universidad Nacional Autónoma de México)

Edición de redacción, estilo y formato

Paola Beatriz Cárdenas Pech

Bricelda Bedoy Varela

Ensayos Revista de Economía, Vol. 29, No. 1, enero-junio 2010. Es una publicación semestral, editada por la Universidad Autónoma de Nuevo León, a través de la Facultad de Economía con la colaboración del Centro de Investigaciones Económicas. Domicilio de la publicación: Av. Lázaro Cárdenas 4600 Ote., Fracc. Residencial Las Torres, Monterrey, N.L. C.P. 64930. Tel. +52 (81) 8329 4150 Ext. 2463 Fax. +52 (81) 8342 2897. Editor Responsable: Jorge Omar Moreno Treviño. Reserva de derechos al uso exclusivo No. 04-2009-061215024200-102, ISSN 1870-221X, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Licitud de Título y Contenido No. 14910, otorgado por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación. Registro de marca ante el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial: 1182771. Impresa por: Serna Impresos, S.A. de C.V., Vallarta 345 Sur, Centro, C.P. 64000, Monterrey, Nuevo León, México. Fecha de terminación de impresión: 1 de mayo de 2010. Tiraje: 30 ejemplares. Distribuido por: Universidad Autónoma de Nuevo León, a través de la Facultad de Economía, Av. Lázaro Cárdenas 4600 Ote., Fracc. Residencial Las Torres, Monterrey, N.L. C.P. 64930.

Las opiniones y contenidos expresados en los artículos son responsabilidad exclusiva de los autores.

Impreso en México

Todos los derechos reservados

© Copyright 2010

ensayos.uanl.mx

Índice

<i>The Theory of Storage and Price Dynamics of Agricultural Commodity Futures: the Case of Corn and Wheat</i>	1
---	---

Guillermo Benavides Perales

<i>Manejo sustentable del uso de agua y crecimiento urbano</i>	23
--	----

Nicholas P. Sisto

<i>The Evolutionary Processes for the Populations of Firms and Workers</i>	39
--	----

Elvio Accinelli Gamba, Edgar J. Sánchez Carrera

<i>Convergencia entre las economías de México y EUA</i>	69
---	----

José Romero Tellaache

The Theory of Storage and Price Dynamics of Agricultural Commodity Futures: the Case of Corn and Wheat

Guillermo Benavides Perales*

Fecha de recepción: 14 XII 2009

Fecha de aceptación: 23 II 2010

Abstract

Using a restricted version of the BEKK model it is tested an implication of the theory of storage that supply-and-demand fundamentals affect the price dynamics of agricultural commodities. The commodities under analysis are corn and wheat. An interest-storage-adjusted-spread was used as a proxy variable for supply-and-demand fundamentals to test the aforementioned implication for both commodities. It is also tested the Samuelson hypothesis that spot prices have higher volatility than futures prices. It is found that the interest-storage-adjusted-spread has had a statistically significant positive influence on the spot and futures returns for both commodities. Likewise, the results also show that spot price returns have higher volatility compared to futures price returns which is consistent with the Samuelson hypothesis. The results of the aforementioned tests are consistent with both theories and with the existing literature related to commodity futures.

Keywords: Agricultural commodities, BEKK model, multivariate GARCH, Samuelson hypothesis, theory of storage.

JEL Classification: C22, G10, Q14.

* Banco de México.

Address: Cinco de Mayo # 18, Col. Centro, México D.F., CP. 06059, México.

Email: gbenavid@banxico.org.mx

The opinions in this paper correspond to the author only and do not necessarily reflect the point of view of Banco de México.

The author thanks two anonymous referees for very valuable comments, the Committee from the European Financial Association (EFA) Conference in Berlin for selecting this paper as a "Discussion Meeting Paper," the Department of Accounting and Finance at Lancaster University, and CONACYT (National Council of Science and Technology) Mexico, for the generous financial support given. All remaining errors are responsibility of the author.

2 Ensayos

Resumen

Se utiliza una versión restringida del modelo BEKK para poner a prueba una implicación de la teoría de almacenamiento, la cual establece qué fundamentos de oferta y demanda afectan la dinámica de precios de productos agropecuarios. Los productos analizados son el maíz y el trigo. Se utiliza un diferencial-ajustado a la tasa de interés y a costos de almacenamiento para tener la “proxy” de los fundamentos de oferta y demanda para los bienes agropecuarios previamente mencionados. También se pone a prueba la hipótesis de Samuelson, la cual argumenta que la volatilidad de los precios spot es mayor a la volatilidad de los precios de los futuros. Los resultados muestran que el diferencial-ajustado tiene una influencia positiva estadísticamente significativa sobre los rendimientos de los precios spot y de futuros para ambos productos agropecuarios. De la misma manera, los resultados también muestran que los rendimientos de los precios spot tienen mayor volatilidad si se comparan con los rendimientos de los precios de los futuros, lo que es consistente con la hipótesis de Samuelson. Los resultados de las pruebas mencionadas son consistentes con ambas teorías y la literatura existente en relación a futuros agropecuarios.

Palabras Clave: productos agropecuarios, modelo BEEK, modelo multivariado GARCH, Hipótesis de Samuelson, teoría de almacenamiento.

Clasificación JEL: C22, G10, Q14.

Introduction

Return variability in spot and futures prices have been analyzed using multivariate GARCH models in different types of studies. McCurdy and Morgan (1991) analyzed uncovered interest rate parity. Chan, K. *et al.* (1991) made a similar study using stock and futures indices. Ng and Pirrong (1994) analyzed joint dynamics of spot and futures prices returns for metals. Jacobs and Onochie (1998) work was done for the relationship between return variability and trading volume in international futures prices. In this paper the work of Ng and Pirrong (1994) is extended to describe the joint dynamics of the spot and futures prices returns for agricultural commodities, specifically corn and wheat. This is important in order to test existing futures markets theories and to compare the results obtained here to those documented in the literature. The main contribution to the literature is to add empirical evidence about the usefulness (validity) of theories for agricultural commodities futures.

A restricted version of the Engle and Kroner (1995) multivariate ARCH model, henceforth the BEKK model, is applied to test financial theories. The

BEKK model (named like this after an earlier working paper by Baba, Engle, Kraft and Kroner) with a spread effect is applied to test specifically the theory of storage and the Samuelson's effect. Contrary to metal commodities the agricultural commodities' spot and futures prices under analysis show that the series were stationary $I(0)$ thus, the Error Correction Model (ECM) used by Kroner and Sultan (1991) and Ng and Pirrong (1994) could not be used in this case. Hence the use of the BEKK model is a reliable alternative estimation. An additional novelty includes the relatively larger sample of almost twenty-five years of daily data for both commodities under analysis. Aforementioned research papers used weekly data for a significantly smaller sample period.

The layout of the paper is as follows. Section 1 details about futures market theories and the methodology applied here to analyze them. Section 2 presents the model. An explanation about the data and its transformation is presented in Section 3. Descriptive statistics and data analysis are presented in Section 4. In Section 5 there are analysis of the results. Finally, there is a conclusion.

1. Details of the theories and research methodology

1.1. The Theory of Storage

The Theory of Storage by Kaldor (1939), states that the spread between spot and futures prices is determined by fundamental supply-and-demand conditions. Specifically, the behavior of commodity futures and spot prices are related to storage costs, inventory levels and convenience yields. Main contributions to the theory have been in three ways: 1) Analysis and evidence relating to it; 2) Empirical tests of the implications related to inventories; and 3) Empirical tests of the implications related to the behavior of the basis.¹ Among the important contributions for the explanation of the theory, in terms of theoretical analysis and including some evidence relating to it, are the ones by Working (1948, 1949), Telser (1958), Bresnahan and Suslow (1985), Bresnahan and Spiller (1986), Williams (1986), Williams and Wright (1989, 1991), Brennan (1991), Deaton and Laroque (1992). On the one hand, these works have explained mainly theoretical implications of the theory. On the other hand, in addition to theoretical explanations of the theory of storage, previous work has been done to test the implications of the theory by empirical work. A cornerstone in the literature of empirical work is shown in the seminal research papers done by Fama and French (1987, 1988) in which the conclusion is that most of the implications tested in the theory of storage hold. Other empirical works were elaborated by Brennan

¹ Basis represents the difference between the futures price and the spot price.

4 Ensayos

(1958), Cho and McDougall (1990), Ng and Pirrong (1994) and Susmel and Thompson (1997).

It is believed that inventories of agricultural commodities are held given that there is a stream of benefits to hold them called convenience as Brennan (1958) explained. Basically there are two main reasons that explain the existence of convenience, Fama and French (1987). One is that producers and/or consumers who hold the commodity physically could find benefits of having supplies (stocks) of the commodity to meet unexpected demand. The other one is that the supplies of the commodity could be used at any time as an input in a production process.

From the theory of storage it is possible to derive six testable implications on this theory.² In this paper one of the implications of the theory of storage will be tested. The implication is that spot and futures price volatilities are influenced by supply and demand fundamentals. Following Ng and Pirrong (1994) in this research paper convenience yields are used as a proxy variable for supply and demand fundamentals. Thus, the analysis will consider the influences of convenience yields on spot and futures price return volatilities for each commodity under analysis.

1.2. The Samuelson Effect

The Samuelson (1965) effect which states that the volatility of the spot prices is higher than the volatility of futures prices will be tested in the following way: first, average fitted values of futures return variabilities and spot return variabilities will be compared to each other. It is expected that the fitted values of the futures return variabilities will be less than the fitted values of the spot return variabilities. Secondly, a correlation coefficient between the ratio of the futures return volatility to the spot returns volatility and the convenience yield will be estimated. According to this theory the spot-return volatility must be larger than the futures-return volatility as the market becomes more inverted *i.e.* as the convenience yield increases. Therefore, it is expected that the correlation between the ratio of the futures return volatility to the spot returns volatility and the convenience yield must be negative.

1.3. No-Arbitrage Theory and the Adjusted Spread

Following Ng and Pirrong (1994) supply and demand fundamentals could be expressed as a proxy variable of an interest-storage adjusted spread between

² For more details about each testable implication of the theory of storage the interested reader can refer to Ng and Pirrong (1994, 208).

spot and futures prices. This could be expressed in mathematical terms considering the no-arbitrage relation between spot and futures prices in Equation (1):

$$F_{t,T} - W_{t,T} = S_t e^{(R_{t,T} - CY_{t,T})(T-t)} \quad (1)$$

In Equation (1) $F_{t,T}$ represents the futures price and S_t represents the spot price. $R_{t,T}$ is the interest rate. The variables $W_{t,T}$ and $CY_{t,T}$ represent the marginal storage cost and convenience yield respectively. The pair of subscripts t, T defines variables at time t for futures delivered at time T . Solving for the interest-storage adjusted spread (hereafter the adjusted spread) it follows that the formula to obtain the aforementioned variable is shown in Equation (2):

$$z_t = \frac{\ln(F_{t,T} - W_{t,T}) - \ln S_t}{T-t} - R_{t,T} = -CY_{t,T} \leq 0 \quad (2)$$

where z_t represents the adjusted spread. The no arbitrage theory will predict that z_t will vary directly with inventories so it will be ensured that the convenience yield will affect the relationship between spot and futures prices. Also, the theory of storage implies that spot prices will become more volatile as inventories are low, *i.e.*, convenience yields increase. To test formally the above mentioned theories an econometric model will be applied.

2. The Model

The model to be used is the BEKK model, which estimates the conditional variances and covariances of the series under analysis using a multivariate GARCH method. The procedure to obtain the aforementioned multivariate GARCH model is explained in Equations (3) through (7).

Let y_t be a vector of returns at time t ,

$$y_t = \mu + \varepsilon_t \quad (3)$$

where μ is a constant mean vector and the heteroskedastic errors ε_t are multivariate normally distributed:

$$\varepsilon_t | I_{t-1} \sim N(0, H_t) \quad (4)$$

6 Ensayos

Each of the elements of H_t depends on p lagged values of the squares and the cross products of ε_t as well as those on the q lagged values of H_t . Considering a multivariate model setting it is convenient to stack the non-redundant elements of the conditional covariance matrix into a vector, *i.e.*, those elements lie on and below the main diagonal. The operator, which performs the aforementioned stacking, is known as the *vech* operator. Defining h_t is $vech(H_t)$ and η_t represents $vech(\varepsilon_t \varepsilon_t')$ the parameterization of the variance matrix is:

$$h_t = \alpha_0 + \alpha_1 \eta_{t-1} + \dots + \alpha_p \eta_{t-p} + \beta_1 h_{t-1} + \dots + \beta_q h_{t-q} \quad (5)$$

Equation (5) is called the *vech* representation. Bollerslev *et al.* (1988) have proposed a diagonal matrix representation, in which each element in the variance matrix $h_{jk,t}$ depends only on past values of itself and past values of the cross product $\varepsilon_{j,t} \varepsilon_{k,t}$. In other words, the variances depend on their own past squared residuals and the covariances depend on their own past cross products of the relevant residuals. A diagonal structure of the matrices α_i and β_i is assumed in order to obtain a diagonal model in the *vech* representation shown in Equation (5).

In the representations explained above it is difficult to ensure positive definiteness in the estimation procedure of the conditional variance matrix. To ensure the condition of a positive definite conditional variance matrix in the optimization process Engle and Kroner (1995) proposed the BEKK model. This model representation can be observed in Equation (6):

$$H_t = \omega \omega' + \sum_{i=1}^p \alpha (\varepsilon_{t-i} \varepsilon_{t-i}') \alpha' + \sum_{i=1}^q \beta H_{t-i} \beta' \quad (6)$$

In Equation (6) $\omega \omega'$ is symmetric and positive definite and the second and third terms in the right-hand-side of this equation are expressed in quadratic forms. This ensures that H_t is positive definite and no constraints are necessary on the α_i and β_i parameter matrices. As a result, the Eigenvalues of the variance-covariance matrix will have positive real parts which satisfy the condition for a positive definite matrix.

For an empirical implementation related to the analysis of the influence of the adjusted spread to the spot and futures return variabilities for each agricultural commodity and following Ng and Pirrong (1994) the model can be extended as in Equation (6'):

$$H_t = \omega\omega' + \sum_{i=1}^p \alpha(\varepsilon_{t-i}\varepsilon'_{t-i})\alpha' + \sum_{i=1}^q \beta H_{t-i}\beta' + \gamma z_{t-1}^2 \quad (6')$$

In Equation (6') ω is a 2 x 2 lower triangular matrix, α and β are 2 x 2 diagonal matrices and γ is a 2 x 2 symmetric matrix. For the bivariate case the BEKK model can be expressed in vector form in Equation (7):

$$\begin{bmatrix} H_{11,t} & H_{12,t} \\ H_{12,t} & H_{22,t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \omega_1 & 0 \\ \omega_2 & \omega_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_1 & \omega_2 \\ 0 & \omega_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \alpha_1 & 0 \\ 0 & \alpha_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_{1,t-1}^2 & \varepsilon_{1,t-1}\varepsilon_{2,t-1} \\ \varepsilon_{1,t-1}\varepsilon_{2,t-1} & \varepsilon_{2,t-1}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_1 & 0 \\ 0 & \alpha_2 \end{bmatrix} \\ + \begin{bmatrix} \beta_1 & 0 \\ 0 & \beta_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} H_{11,t-1} & H_{12,t-1} \\ H_{12,t-1} & H_{22,t-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_1 & 0 \\ 0 & \beta_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \gamma_1 z_{t-1}^2 & \gamma_3 z_{t-1}^2 \\ \gamma_3 z_{t-1}^2 & \gamma_2 z_{t-1}^2 \end{bmatrix} \quad (7)$$

or,

$$\begin{aligned} H_{11,t} &= \omega_1^2 + \alpha_1^2 \varepsilon_{1,t-1}^2 + \beta_1^2 H_{11,t-1} + \gamma_1 z_{t-1}^2 \\ H_{12,t} &= H_{21,t} = \omega_1 \omega_2 + \alpha_1 \alpha_2 \varepsilon_{1,t-1} \varepsilon_{2,t-1} + \beta_1 \beta_2 H_{12,t-1} + \gamma_3 z_{t-1}^2 \\ H_{22,t} &= \omega_2^2 + \alpha_2^2 \varepsilon_{2,t-1}^2 + \beta_2^2 H_{22,t-1} + \gamma_2 z_{t-1}^2 \end{aligned}$$

In this research project maximum likelihood methodology and the BHHH (Berndt, Hall, Hall, and Hausman) algorithm of Berndt *et al.* (1974) was used in the estimation procedure.³ The relevant data to use for this econometric model is explained in the next section.

3. Price and Storage Cost Data

The data for the agricultural commodities consists of daily spot and futures prices of corn (CN) and wheat (WC) obtained from futures contracts traded at the Chicago Board of Trade (CBOT). The sample period under analysis is twenty-five years from 01/01/1975 to 01/10/1999 supplied by The Futures Industry Institute (FII). The sample size is 6,243 observations. The data for the interest rates consists of daily 91-day Treasury Bills (TB) obtained from

³ Since the model is no longer of the usual linear form, ordinary least squares cannot be used. A technique known as maximum likelihood is, therefore, applied. The method works by finding the most likely values of the parameters given the actual data. In other words, by an optimization procedure the relevant parameters of the model equation (6) and (6') which maximize the log-likelihood function are found. BHHH is an algorithm that uses first derivatives to find optimal values of an objective function. It is a modified version of the well known Newton-Raphson algorithm.

8 Ensayos

the Federal Reserve System (FED).⁴ The sample period was chosen considering that it covers sufficient numbers of years including important agricultural U.S. legislation passages of 1985, 1990 and 1996.

The U.S. Department of Agriculture (USDA) kindly provided storage costs for the agricultural commodities under analysis. These were yearly storage fees that the U.S. Government has paid to commercial warehouses in the U.S. to store corn and wheat. The commercial warehouses which have had agreements with the U.S. Government to store grain hold approximately 93 percent of the U.S. capacity to store grain. The data was from the year 1973 to 2000. These yearly storage fees were divided by four in order to determine the relevant three-month period storage cost. The storage costs estimates were used to calculate the adjusted spread for the aforementioned commodities.

3.1. Data Transformation

In order to avoid unrealistic “jumps” when creating a time-series of futures prices from different contracts, following Wei and Leuthold (1998), synthetic futures prices were created. These were calculated by a “roll-over” procedure that is basically an interpolation of futures prices from different maturity futures contracts of each commodity, Herbst *et al.*, (1989) and Kavussanos and Visvikis (2005). This procedure creates a constant maturity weighted average futures price based upon the futures prices and the days to maturity of the two near-by-expiration contracts.⁵ The formula used to obtain the synthetic futures price is shown in Equation (8).

$$SYN_T = F_j \left[\frac{(T - T_i)}{(T_j - T_i)} \right] + F_i \left[\frac{(T_j - T)}{(T_j - T_i)} \right] \quad (8)$$

Where: SYN_T represents synthetic futures price for delivery at T , F_j is the contract j futures price, F_i is the contract i futures price, T is time in number of days, T_i is the contract i expiration in days remaining, T_j is Contract j expiration in days remaining, where j is $i + 1$, with $T_i \leq T \leq T_j$. The time to expiration of the synthetic futures prices calculated as T is 91 days. This is considered an appropriate time-to-expiration given that a shorter time-to-expiration will give higher expected volatility. This situation is observed in empirical research papers, which have found that volatility in futures prices increases, as a contract gets closer to expiration. A higher expected volatility due to time-to-expiration could have biased the results of this analysis. Thus,

⁴ The web page is <http://www.federalreserve.gov/>

⁵ The futures contracts for the aforementioned agricultural commodities have the following delivery months: March, May, July, September and December.

91-day synthetic futures prices were considered appropriate using this method in order to avoid high volatility estimates due to time-to-expiration causes. In addition this will always allow finding a shorter and longer contract, if necessary. For example for a shorter maturity contract T is 30 (one-month) could be targeted. For a longer maturity contract T is 181 (six – months) could be targeted.

4. Descriptive Statistics and Data Analysis

The sample used in this study consists of 6,243 observations from 2 January 1975 to 1 October 1999. Table 1 shows in the second and fourth columns the spot ($\Delta \ln S_t$) and futures returns ($\Delta \ln F_t$), respectively. Table 1 shows the autocorrelation coefficients of daily returns of spot and futures prices of the agricultural commodities under analysis. The last column shows the daily product of the spot and futures returns of these commodities. The results showed that there was weak evidence of time-varying mean in these commodities given that there were few significant coefficients for both spot and futures returns. However, the squared returns columns showed that for both spot and futures prices there was time-varying variance given that all the coefficients were positive and significant.

These results showed that these commodities had time-varying volatility given that the squared returns at time t are estimates of the variances of the spot and futures returns at time t . The cross product of these returns is the measure of their covariance. In addition, the $Q(12)$ Ljung-Box statistic for twelfth-order serial correlation was statistically significant in all cases with the exception of the spot returns of wheat (first column) in which the statistic was not statistically significant. The null hypothesis tested under this test was that all observed values are *i.i.d.*

Table 2 shows descriptive statistics of daily returns and squared returns of the agricultural commodities under analysis. The product of the spot ($\Delta \ln S_t$) and futures returns ($\Delta \ln F_t$) is also reported. It can be observed that the variance of the futures returns is significantly less than the variance of the spot returns. This difference is statistically significant at the 1% confidence level for each commodity. The F -statistics were 2.9636 and 7.9706 for corn and wheat respectively with 6,241 degrees of freedom. These results are consistent with the Samuelson (1965) theory which states that spot returns are more volatile than futures returns. Lastly, it is also worthwhile mentioning that there is high kurtosis in the returns of the variables.

Table 1
Agricultural Commodities Autocorrelations

Lag	$\Delta \ln S_t$	$(\Delta \ln S_t)^2$	$\Delta \ln F_t$	$(\Delta \ln F_t)^2$	$\Delta \ln S_t \Delta \ln F_t$
Corn:					
1	0.030*	0.246*	0.052*	0.253*	0.237*
2	0.002	0.226*	-0.014	0.231*	0.244*
3	0.016*	0.164*	-0.001	0.214*	0.184*
4	0.007	0.170*	0.008	0.172*	0.196*
5	-0.017	0.204*	-0.021	0.223*	0.227*
6	-0.001	0.168*	0.010	0.180*	0.167*
7	0.060*	0.190*	0.064*	0.171*	0.197*
8	0.002	0.166*	0.016	0.191*	0.204*
9	-0.003	0.175*	0.028*	0.182*	0.183*
10	0.011*	0.210*	0.018	0.212*	0.255*
$Q(12)$	33.926*	2,613.1*	56.558*	2,799.0*	3,032.0*
Wheat:					
1	0.007	0.063*	0.022	0.225*	0.124*
2	-0.016	0.078*	-0.046*	0.200*	0.158*
3	-0.003	0.021*	-0.002	0.161*	0.124*
4	0.004	0.030*	0.020	0.162*	0.132*
5	-0.024	0.020*	-0.031*	0.157*	0.118*
6	-0.008	0.070*	-0.002	0.171*	0.098*
7	0.002	0.018	0.024	0.155*	0.129*
8	0.041*	0.033*	0.024	0.167*	0.108*
9	-0.004	0.018	0.015	0.121*	0.077*
10	-0.002	0.025*	0.007	0.140*	0.108*
$Q(12)$	16.916	124.23*	34.652*	1,902.7*	946.59*

The row showing $Q(12)$ is the Ljung-Box statistic for twelfth-order serial correlation, which has a χ^2 distribution with 21 degrees of freedom. The critical value is 21 at the 5% confidence level.

* Indicates that coefficients and $Q(12)$ are statistically significant at the 5% level

Table 2
Agricultural Commodities Descriptive Statistics

Agricultural commodity:	Corn	Wheat
$\text{VAR}(\Delta \ln S_t)$	2.1×10^{-4}	2.6×10^{-4}
$\text{VAR}[(\Delta \ln S_t)^2]$	2.6×10^{-7}	1.1×10^{-6}
$\text{VAR}(\Delta \ln F_t)$	1.4×10^{-4}	1.7×10^{-4}
$\text{VAR}[(\Delta \ln F_t)^2]$	9.2×10^{-8}	1.27×10^{-7}
$\text{VAR}[(\Delta \ln S_t \Delta \ln F_t)]$	1.1×10^{-7}	1.85×10^{-4}
Kurtosis ($\Delta \ln S_t$)	7.4201	16.1378
Kurtosis ($\Delta \ln F_t$)	5.3923	5.0159
MEAN ($\Delta \ln S_t$)	-0.0001	-0.0001
MEAN ($\Delta \ln F_t$)	-8.79×10^{-5}	-8.77×10^{-5}

$\text{VAR}(X)$ gives the sample variance of the (X) series. $\text{MEAN}(X)$ gives the sample mean of the (X) series. $\text{KURTOSIS}(X)$ is the coefficient of kurtosis for the variable (X).

Table 3 presents the correlations between the daily returns of spot and futures prices⁶ and the daily lagged-adjusted-squared-spread (z^2_{t-1}) for the agricultural commodities under study. $\text{CORR}(X,Y)$ gives the correlation between the variable X and Y and partial correlation $\text{PCORR}(\Delta \ln F_t \Delta \ln S_t, z^2_{t-1})$ of the daily product of spot and futures returns and the daily lagged-adjusted-squared-spread (holding the lagged-spot squared and futures squared returns constant) is also reported. It can be observed in Table 3 that the correlation coefficients between the spot and futures squared returns and the lagged-adjusted-squared-spread are positive. This is consistent with the hypothesis that spot and futures returns become more variable when the spread widens.

Table 3
Spread-Squared Return Correlations

	CORN	WHEAT
$\text{CORR}[(\Delta \ln S_t)^2, z^2_{t-1}]$	0.1669	0.1137
$\text{CORR}[(\Delta \ln F_t)^2, z^2_{t-1}]$	0.1071	0.0209
$\text{CORR}(\Delta \ln F_t \Delta \ln S_t, z^2_{t-1})$	0.1193	-0.0314
$\text{PCORR}(\Delta \ln F_t \Delta \ln S_t, z^2_{t-1})$	-0.0665	-0.0431

All correlation coefficients are statistically significant at 1% confidence level.

In addition, the correlation coefficients between the lagged-adjusted-squared-spread are higher with the spot prices squared returns compared to the futures prices squared returns. This is consistent with economic theory and empirical evidence that have shown that current supply conditions of a commodity has higher impact on spot rather than futures volatilities. Furthermore the partial correlation coefficients between the daily product of spot and futures returns and the lagged-adjusted-squared-spread are negative for both commodities which is consistent with the theory of storage implication that the correlation between the spot and the futures prices decreases as the spread widens. The research papers of French (1986), Fama and French (1987, 1988), Ng and Pirrong (1994) and Susmel and Thompson (1997) provided evidence that is consistent with this implication of the theory of storage.

⁶The spot and futures returns are as described in Table 1.

12 Ensayos

Table 4 presents unit root tests using the conventional Augmented Dickey-Fuller (ADF) and Phillips-Perron (PP) tests. The procedures to test for unit root in the former test are detailed in Dickey and Fuller (1979). In this research paper the augmented form of this aforementioned test (ADF) is performed using logged levels of the variables following the procedure described in Hamilton (1994). The latter test is a non-parametric test, which relaxes the assumption that the errors must be Gaussian white noise (*i.e. i.i.d.*) and normally distributed; and allows for serial correlation and heteroscedasticity, which are commonly observed in spot prices of agricultural commodities, Wei and Leuthold (1998). In the first row, the estimated coefficients are presented, in the second row are the standard errors in parenthesis, the third row shows t-statistics, and the fourth row presents the statistic of the PP test. There are two types of ADF test performed: Model (1) including a constant (T is 0), and Model (2) including a constant and a linear trend. According to the results it can be observed that spot and futures prices are stationary for both commodities under analysis. The ADF-statistic (higher statistic in five lag-ADF regressions) and the PP statistic show that the relevant coefficients are statistically significant at the 5% level *i.e.*, did reject the relevant Mackinnon (1991) critical values of the null hypothesis of a unit root. It is worthwhile mentioning that the adjusted spread (z^2_{t-1}) is stationary for both agricultural commodities as well. The ADF and PP-statistics are statistically significant at the 1% level rejecting the relevant Mackinnon critical values of the null hypothesis of a unit root. These results show the mean reverting characteristic of the interest and storage adjusted spread. The aforementioned characteristic is consistent with the theory.

Table 4
ADF and PP Test Statistics and details about the Estimated Coefficients

ADF TEST	CORN			WHEAT		
	Spot	Futures	Adjusted Spread (z_t)	Spot	Futures	Adjusted Spread (z_t)
(1) γ	-0.0023 (0.0009) -2.6816*	-0.0023 (0.0008) -2.7753*	-0.0105 (0.0018) -5.9363**	-0.0034 (0.0011) -3.0817**	-0.0027 (0.0009) -2.8174*	-0.0096 (0.0018) -5.3906**
(2) γ	-0.0023 (0.0009) -2.7209	-0.0023 (0.0008) -2.7747	-0.0109 (0.0018) -6.0877**	-0.0033 (0.0011) -3.0894	-0.0027 (0.0009) -2.8172	-0.0097 (0.0018) -5.4383**
β	-5.08 x 10 ⁻⁸ 1.03 x 10 ⁻⁷ -0.4946	-1.44 x 10 ⁻⁸ 8.56 x 10 ⁻⁸ -0.1679	3.13 x 10 ⁻⁷ 2.22 x 10 ⁻⁷ 1.4115	-3.28 x 10 ⁻⁸ 1.16 x 10 ⁻⁷ -0.2832	-1.44 x 10 ⁻⁹ 9.43 x 10 ⁻⁸ -0.0152	2.22 x 10 ⁻⁷ 2.80 x 10 ⁻⁷ 0.7927
PP TEST						
(1) γ	-0.0022 (0.0009) -2.6464	-0.0023 (0.0008) -2.7688	-0.0088 (0.0017) -5.0375	-0.0035 (0.0011) -3.2702	-0.0028 (0.0009) -2.9917	-0.0095 (0.0018) -5.3417
t_{pp}	-2.8056*	-2.9404**	-5.6785**	-3.2225**	-2.9814**	-5.4571**
(2) γ	-0.0023 (0.0009) -2.6798	-0.0023 (0.0008) -2.9351	-0.0092 (0.0018) -5.1824	-0.0035 (0.0011) -3.2761	-0.0028 (0.0009) -2.9904	-0.0096 (0.0018) -5.3894
β	-4.35 x 10 ⁻⁸ 1.03 x 10 ⁻⁷ -0.4236	-8.86 x 10 ⁻⁹ 8.56 x 10 ⁻⁸ -0.1034	-2.90 x 10 ⁻⁷ -2.23 x 10 ⁻⁷ -1.3002	-2.65 x 10 ⁻⁸ 1.16 x 10 ⁻⁷ -0.2294	5.12 x 10 ⁻⁹ 9.44 x 10 ⁻⁸ 0.0543	2.23 x 10 ⁻⁷ 2.82 x 10 ⁻⁷ 0.7907
t_{pp}	-2.8408	-2.9351	-5.8271**	-3.2284*	-2.9801	-5.5053**

(1) Including a constant (T = 0), (2) including a constant and a linear trend.

*** Coefficients significant at the 1% level, ** coefficients significant at the 5% level.

* Coefficients significant at the 10% level. Critical values MacKinnon (1991) in the range of -2.8625 and -2.5673 at the 5% and 10% level respectively for the case of no trend and -3.4132 and -3.1283 at the same significant level for the case of including a trend. The ADF test was carried out with five lags. The PP test truncation lag is ten as suggested by Newey and West (1994).

5. Estimated Coefficients and Analysis of the Results

For the estimation of the coefficients the BEKK(1,1) specification was chosen given that this parsimonious specification gave the smallest values using Akaike Information Criteria⁷ (AIC) when it was compared with other higher-order specifications. The details of the different orders of the BEKK

⁷ The AIC is obtained with the following formula: $\frac{-2l}{n} + \frac{2k}{n}$. Where l is the value of the log

likelihood function using the k estimated parameters, k is the number of estimated parameters and n is the number of observations.

14 Ensayos

model are presented in Table 5. As it can be observed in Table 5 the BEKK(1,1) specification gave the smallest AIC values for both commodities.

Table 5
AIC for the BEKK(1,1) Model and Higher Order Specifications

Model Specification	CORN AIC	WHEAT AIC
BEKK(1, 1)	-13.4042*	-12.7841*
BEKK(1, 2)	-13.3747	-12.7261
BEKK(2, 1)	-13.0482	-11.6806
BEKK(2, 2)	-13.0192	-11.6245

* Represents the smallest value.

The results of the Diagonal BEKK(1,1) model without including the adjusted spread presented in Equation (6) can be observed in Table 6. The results of the Diagonal BEKK model including the adjusted spread presented in Equation (6') can be observed in Table 7. It can be observed in Table 7 that with the exception of γ_3 for wheat, the signs of the γ coefficients are positive and statistically significant. These results are consistent with the theory of storage implication that an increase in the basis (adjusted-spread) is positively related to spot and futures prices variability. However it is worthwhile mentioning that the magnitude of the coefficients is not remarkably high.

The sum of the estimated coefficients α_i and β_i is positive and statistically significant for both commodities as it was expected. The sums of both coefficients α_i^2 and β_i^2 are less than one which satisfies a condition in ARCH modelling that their sum must be less than or equal to one. In other words, the volatility of the series is not explosive for any of the commodities. It is worthwhile mentioning that the α_i^2 and β_i^2 coefficients are higher for corn than wheat respectively. On the one hand, this shows that the volatilities of the spot and futures returns have been higher for corn than for wheat. On the other hand the cross-equation covariance influences (β 's) have been higher for wheat. An intuition behind these results has to do with the different harvesting seasons for both commodities. Speculators may have been more actively trading in corn compared to wheat considering that most of the harvest of corn in the U.S is after the second half of the year, *i.e.*, July to December. Moreover, wheat is harvested three times during the year thus; this may explain the significant differences of price return fluctuations between both commodities.

Table 6
Estimates of the BEKK(1, 1) Model Excluding the Adjusted Spread

Underlying coefficient	Corn	Wheat
ω (1)	0.0026 (7.55 x 10 ⁻⁵)** <i>35.1479</i>	0.0026 (8.13 x 10 ⁻⁵)** <i>32.4321</i>
ω (2)	0.0015 (5.76 x 10 ⁻⁵)** <i>25.8644</i>	0.0018 (7.79 x 10 ⁻⁵)** <i>23.0545</i>
ω (3)	0.0009 (4.37 x 10 ⁻⁵)** <i>20.6998</i>	0.0012 (4.19 x 10 ⁻⁵)** <i>29.3319</i>
α (1)	0.3491 (0.0048)** <i>72.7947</i>	0.3339 (0.0028)** <i>118.2332</i>
α (2)	0.2997 (0.0053)** <i>55.9395</i>	0.2958 (0.0042)** <i>70.3053</i>
β (1)	0.9205 (0.0019)** <i>481.3929</i>	0.9358 (0.0011)** <i>848.7096</i>
β (2)	0.9444 (0.0017)** <i>545.1601</i>	0.9446 (0.0016)** <i>599.5683</i>
L	41,729.42	39,688.57
AIC	-13.3698	-12.7157
N	6,243	6,243

Standard errors are shown in brackets. ** Indicates the coefficient is statistically significant at the 5% confidence level; * indicates the coefficient is statistically significant at the 10% confidence level. Italics show the z-statistic. *L* represents Log-likelihood estimate. *AIC* is Akaike Information Criterion. *N* is sample size.

Table 7
Estimates of the BEKK(1, 1) Model Including the Adjusted Spread

Underlying coefficient	Corn	Wheat
ω (1)	0.0028 (7.92×10^{-5})** <i>36.1465</i>	0.0032 (9.96×10^{-5})** <i>32.6192</i>
ω (2)	0.0019 (6.38×10^{-5})** <i>30.0891</i>	0.0023 (7.97×10^{-5})** <i>29.2464</i>
ω (3)	0.0009 (4.64×10^{-5})** <i>20.8035</i>	0.0011 (0.0002)** <i>18.3867</i>
α (1)	0.3413 (0.0056)** <i>61.2128</i>	0.3061 (0.0043)** <i>71.0171</i>
α (2)	0.3078 (0.0059)** <i>51.6586</i>	0.2769 (0.0046)** <i>59.1772</i>
β (1)	0.9099 (0.0025)** <i>363.8831</i>	0.9284 (0.0019)** <i>475.2325</i>
β (2)	0.9316 (0.0025)** <i>368.1771</i>	0.9401 (0.0019)** <i>505.3481</i>
γ (1)	8.23×10^{-5} (9.39×10^{-6})** <i>8.7579</i>	2.78×10^{-5} (3.00×10^{-6})** <i>9.2889</i>
γ (2)	1.35×10^{-5} (3.90×10^{-6})** <i>3.4508</i>	1.55×10^{-6} (9.58×10^{-7})* <i>1.6162</i>
γ (3)	1.58×10^{-5} (5.53×10^{-6})** <i>2.8544</i>	-4.17×10^{-7} (1.55×10^{-6}) <i>-0.2681</i>
L	41,839.88	39,904.32
AIC	-13.4042	-12.7841
N	6,243	6,243

Standard errors are shown in brackets. ** Indicates the coefficient is statistically significant at the 5% confidence level; * indicates the coefficient is statistically significant at the 10% confidence level. Italics show the *z*-statistic. *L* represents Log-likelihood estimate. *AIC* is Akaike Information Criterion. *N* is sample size.

5.1. Likelihood Ratio Tests

Likelihood ratio tests⁸ (LR) were performed to test which model specification is more desirable to use whether excluding (Table 6) or including (Table 7) the adjusted spread. The model specifications including the adjusted spread (Table 7) had higher loglikelihoods compared to the specifications which excluded the adjusted spread (Table 6). Using chi-square values (χ^2), under the null hypothesis of the model excluding the adjusted spread, it was possible to observe that the null hypothesis was rejected in favor of the specification-model including the adjusted spread. The LR statistic for corn was 220.92 which clearly rejected the null hypothesis at the 5% level using three degrees of freedom (d.f.). For the case of wheat the LR statistic was 431.5 which again clearly rejects the null hypothesis at the 5% level using three degree of freedom. The critical value of $\chi^2_{0.05}$ is 7.81.

It is worthwhile mentioning that in the likelihood ratio tests is assumed that the residuals are conditionally normally distributed. However in this case there is evidence that the residuals are not normally distributed in Equation (6) due to the excess kurtosis. The possibility that the residuals are not normally distributed could be considered a shortcoming on the aforementioned likelihood ratio tests given that they may be not fully reliable. Nonetheless in order to have consistent and reliable autoregressive conditional heteroscedasticity (ARCH) parameter estimates the procedure to estimate the quasi-maximum likelihood estimates, covariances and standard errors was performed following the Bollerslev and Wooldridge (1992) methodology. This method ensures consistent parameter estimates and robust standard errors.

5.2. Testing for the Samuelson Effect

Considering the model explained above it is possible to test for the Samuelson hypothesis that the spot volatility is higher than the futures volatility. Using the fitted values for the futures return variabilities and the spot return variabilities estimated in the BEKK model it follows according to this hypothesis H_{22t}/H_{11t} less than one 1. In addition this theory predicts that the spot-return volatility must be larger than the futures-return volatility as the market becomes more inverted, *i.e.* Z_{t-1} increases. Therefore, it will be tested that the correlation between H_{22t}/H_{11t} and Z_{t-1} must be negative. Table 8 presents the Samuelson effect test. The spot return volatility coefficients

⁸ The formula applied for the LR was $-2(L_1 - L_2)$. Where L_1 is the Log-likelihood estimate of the model excluding the adjusted spread and L_2 is the Log-likelihood estimate of the model including the adjusted spread. The critical value was $\chi^2_{0.05} = 7.81$ with d.f. = 3.

18 Ensayos

are higher for spot returns than for futures returns for both commodities. In addition the spot return volatilities increase relative to the futures return volatilities when the market becomes inverted (when the adjusted spread increases), hence the correlations between H_{22t}/H_{11t} and Z_{t-1} are negative as this theory predicts. Thus, these results are consistent with the aforementioned theory.

Table 8
Samuelson Effect Test

Commodity	Average futures volatility / Average spot volatility	Correlation between H_{22t}/H_{11t} and z_{t-1}
CORN	0.6788	-0.2767
WHEAT	0.6423	-0.4087

This is analyzed by calculating the coefficient of the average fitted values for the futures returns volatilities divided by the average fitted values of the spot returns volatilities. The fitted values were estimated with the BEKK(1, 1) model.

5.3. Lagged Adjusted Spread and the Price Return Volatilities

Figures 1 and 2 depict the series z_{t-1}^2 and the variability of the spot and futures returns for both commodities. The variable z_{t-1}^2 is multiplied by -0.0005 in order to compare the series in the same scale. In Figures 1 and 2 $zcn(-1)^2 \cdot -0.0005$ and $zwc(-1)^2 \cdot -0.0005$ represent the z_{t-1}^2 term for corn and wheat respectively multiplied by -0.0005 ; (var spot) and (var futures) represent the variance for spot and futures returns respectively for both commodities. It can be observed in both figures that there is a clear relationship between the lagged-adjusted-spread and the variability of the spot and futures returns for both commodities. It can be observed that as the adjusted spread widens the variability of both spot returns and futures returns increases significantly for both commodities. It is worthwhile mentioning that the increase in the variability of spot returns is higher than the increase in the variability of futures returns for both commodities.

Figure 1
Corn Lagged-Squared-Adjusted-Spread and Spot-Futures Price Return Volatilities

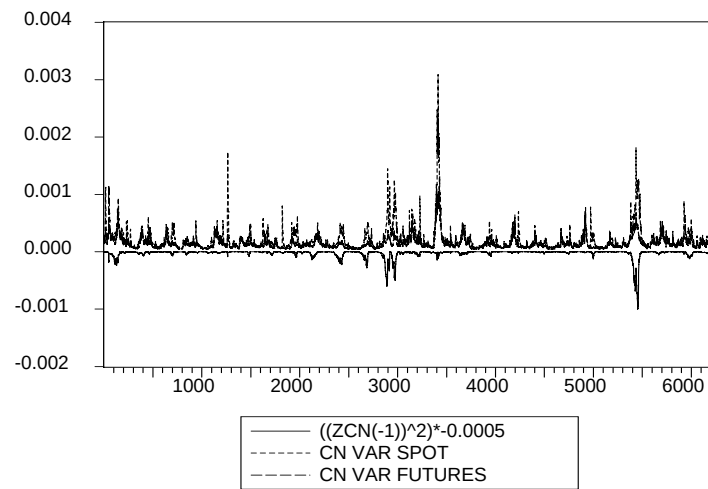
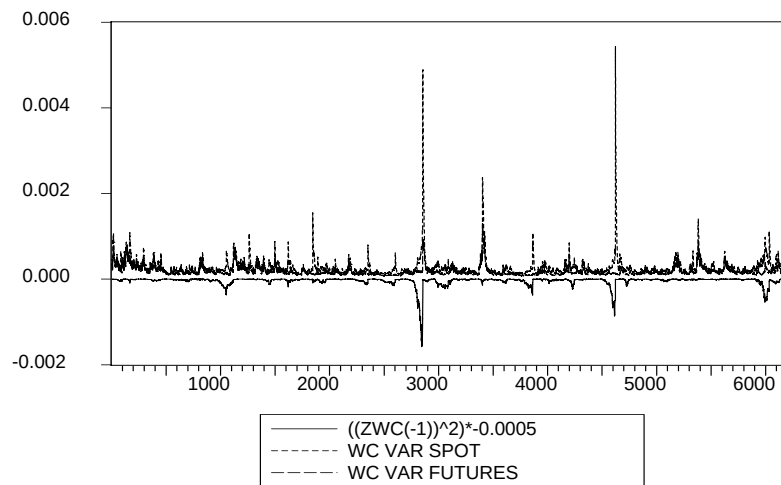


Figure 2
Wheat Lagged-Squared-Adjusted-Spread and Spot-Futures Price Return Volatilities



Conclusions

The results presented in this paper show that the variabilities of the spot and futures returns were statistically significant and positively related to the lagged-adjusted-spread as the theory of storage predicts. In addition it can be clearly observed in Figures 1 and 2 that when there was an increase in the lagged-adjusted-spread (widens) there was also an increase in the spot and futures returns volatilities for both commodities. It is worthwhile emphasizing that both figures show that the variability of the spot returns was higher than the variability of the futures returns when the aforementioned spread widens.

Lastly, the results presented were consistent with the Samuelson hypothesis that the spot prices are more volatile than futures prices. In addition, the correlations between the ratio of the futures and spot return volatilities and the lagged-adjusted-spread were negative as this theory predicts. In a few words, the results estimated using the restricted version of the BEKK model for these commodities were in line with both theories.

References

- Berndt E., B. Hall, R. Hall and J. Hausman (1974). "Estimation and Inference in Nonlinear Structural Models." *Annals of Economic and Social Measurement*, 3(4), 653-665.
- Bollerslev, T., R. Engle and J. Wooldridge (1988). "A Capital Asset Pricing Model with Time-Varying Covariances." *Journal of Political Economy*, 96, 116-131.
- _____ and J. Wooldridge (1992). "Quasi-Maximum Likelihood Estimation and Inference in Dynamic Models with Time Varying Covariances." *Econometric Reviews*, 11, 143-172.
- Bresnahan, T. and P. Spiller (1986). "Futures Market Backwardation Under Risk Neutrality." *Economic Enquiry* 24, 429-41.
- _____ and V. Suslow (1985). "Inventories as an Asset: The volatility of Copper Prices." *International Economic Review*, 26, 409-24.
- Brennan M. (1958). "The Supply of Storage." *The American Economic Review*, 48, 50-72.
- _____ (1991). "The Price of Convenience and the Pricing of Commodity Contingent Claims." In D. Lund and B. Oksendal (Eds.) *Stochastic Models and Option Values*. New York: Elsevier.

- Chan K, K. C. Chan and A. Karolyi (1991). "Intraday Volatility in the Stock Index and the Stock Index Futures Markets." *Review of Financial Studies*, 4(4), 657-684.
- Cho, D. and G. McDougall (1990). "The Supply of Storage in Energy Futures Markets." *The Journal of Futures Markets*, 10, 611-621.
- Deaton, A. and G. Laroque (1992). "On the Behavior of Commodity Prices." *Review of Economic Studies*, 59, 1-23.
- Dickey, S. and W. Fuller (1979). "Distribution of Estimates for Autoregressive Time Series with a Unit Root." *Journal of the American Statistical Association*, 74, 427-431.
- Engle, R. and K. Kroner (1995). "Multivariate Simultaneous Generalized ARCH." *Econometric Theory*, 11, 122-150.
- Fama, E. and K. French (1987). "Commodity Futures Prices: Some Evidence on Forecast Power, Premiums, and the Theory of Storage." *Journal of Business*, 6, 55-73.
- _____ (1988). "Business Cycles and the Behavior of Metals Prices." *Journal of Finance*, 63, 1075-1093.
- French, K. (1986). "Detecting Spot Price Forecasts in Futures Prices." *Journal of Business*, 59, 39-54.
- Hamilton, J. (1994). "Time Series Analysis." Princeton University Press. Princeton, NJ.
- Herbst, A., D. Kare and S. Caples (1989). "Hedging Effectiveness and Minimum Risk Hedge Ratios in the Presence of Autocorrelation: Foreign Currency Futures." *Journal of Futures Markets*, 9, 185-197.
- Jacobs, M. and J. Onochie, (1998). "A Bivariate Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity-in-Mean Study of the Relationship Between Return Variability and Trading Volume in International Futures Markets." *Journal of Futures Markets*, 18, 379-397.
- Kaldor, N. (1939). "Speculation and Economic Stability." *Review of Economic Studies*, 7, 1-27.
- Kavussanos, M. and I. Visvikis (2005). "The Predictability of Non-Overlapping Forecasts: Evidence from the Derivatives Market in Greece." Athens University of Economics and Business, Greece. Workingpaper presented at the European Financial Management Association Milan Meetings June 2005.

22 Ensayos

- Kroner, K. and J. Sultan, (1991). "Foreign Currency Futures and Time-Varying Hedge Ratios." In S.G. Rhee and R. Change (Eds.), *Pacific-Basin Capital Markets Research*. Vol. 2. Amsterdam: North Holland.
- MacKinnon, J. (1991). "Critical Values for Cointegration Tests." Chapter 13 in *Long-run Economic Relationships: Readings in Cointegration*, edited by Engle, R. F. and Granger, C. W. J. Oxford University Press.
- McCurdy, T. and I. Morgan (1991). "Test for a Systematic Risk Component in Deviations from Uncovered Interest Rate Parity." *The Review of Economic Studies*, 58 (3). Special Issue: The Econometrics of Financial Markets, May, 587-602.
- Newey, W. and K. West (1994). "Automatic Lag Selection in Covariance Matrix Estimation." *The Review of Economic Studies*, 61(4), 631-653.
- Ng V. and Pirrong S. (1994). "Fundamentals and Volatility: Storage, Spreads, and the Dynamic of Metals Prices". *Journal of Business*, 67, 203-230.
- Samuelson, P. (1965). "Proof that Properly Anticipated Prices Fluctuate Randomly." *Industrial Management Review*, 6, 41-49.
- Susmel, R. and R. Thompson, (1997). "Volatility, Storage and Convenience Evidence from Natural Gas Markets." *Journal of Futures Markets*, 17(1), 17-43.
- Telser, L. (1958). "Futures Trading and the Storage of Cotton and Wheat." *Journal of Political Economy*, 66, 233-255.
- U.S. Department of Agriculture (USDA) (1994). Selected reports. Washington, D.C.
- Wei, A. and R. Leuthold (1998). "Long Agricultural Futures Prices: ARCH, Long Memory, or Chaos Processes." OFOR Paper Number 98-03.
- Working, H. (1948). "The Theory of Inverse Carrying Charge in Futures Markets." *Journal of Farm Economics*, 30, 1-28.
- _____. (1949). "The Theory of the Price of Storage." *American Economic Review*, 39, 1254-1262.
- Williams, J. (1986). "The Economic Function of Futures Markets." Cambridge: Cambridge University Press.
- Williams, J. and B. Wright (1989). "A Theory of Negative Prices for Storage." *Journal of Futures Markets*, 9, 1-13.
- _____. (1991). "Storage and Commodity Markets." Cambridge: Cambridge University Press.

Manejo sustentable del uso de agua y crecimiento urbano

Nicholas P. Sisto*

Fecha de recepción: 18 XII 2009

Fecha de aceptación: 25 II 2010

Resumen

Los organismos operadores de agua enfrentan un complejo conjunto de desafíos ambientales, económicos, técnicos y administrativos, entre otros. En el Norte de México, el crecimiento de las áreas urbanas en un entorno con escasez de recursos hídricos plantea un serio problema de sustentabilidad. En este contexto, el manejo de la demanda de los usuarios y de la oferta de los organismos operadores puede incidir en el equilibrio de las fuentes de abastecimiento, ya integradas a los sistemas municipales de agua, y contribuir a la sustentabilidad de los mismos. En este trabajo, se evalúa el potencial de dos instrumentos específicos de manejo para lograr este propósito: el costo del agua para los usuarios (para el control de la demanda) y la eficiencia física de las infraestructuras de conducción y distribución de agua (para el control de la relación entre la extracción y el uso). Para ello, se presenta una metodología que establece la relación, en un sistema de suministro de agua para uso público-urbano, entre población, consumo, eficiencia física, eficiencia administrativa y requerimiento de extracción; se desarrolla un procedimiento para el pronóstico del requerimiento de extracción en el largo plazo, según diversos escenarios en cuanto a la aplicación de los instrumentos de manejo; y se determina cuáles serán las pautas para la especificación de estos escenarios, con base en el análisis de datos técnicos y financieros de los organismos operadores de agua de la zona de estudio. La metodología se aplica al caso particular de la Zona Metropolitana de la Laguna, pero se puede replicar en cualquier otra región. El análisis de los resultados, a la luz del balance hidrológico de la zona de estudio, comprueba que los instrumentos de manejo pudieran tener un

* Profesor Asociado. Departamento de Economía y Centro del Agua para América Latina y el Caribe. Tecnológico de Monterrey, Monterrey.

Dirección: Ave. Eugenio Garza Sada 2501 Sur. Col. Tecnológico. C. P. 64849, Monterrey, Nuevo León, México.

Correo electrónico: sisto@itesm.mx

El autor agradece al “Consejo Ciudadano por el Agua de la Laguna” haber proporcionado los datos de operación de los organismos operadores de agua de la zona de estudio, sin los cuales este trabajo no se hubiera podido llevar a cabo.

24 Ensayos

impacto significativo sobre el requerimiento de extracción; no obstante, también establece su insuficiencia y la necesidad de un marco integrado para el manejo sustentable del agua, en el que se consideren simultáneamente todos los usos del agua y no solamente el público-urbano.

Palabras clave: uso público-urbano de agua, requerimiento de extracción, crecimiento, sustentabilidad, Zona Metropolitana de la Laguna.

Clasificación JEL: Q25, Q56.

Abstract

Municipal water utilities face a complex set of environmental, economic, technical and administrative challenges, among others. In Northern Mexico, urban growth in the face of scarce water resources poses a serious sustainability problem. Water demand and supply management in that context could contribute towards improving the balance between extraction and recharge in the water sources exploited by municipal water systems, and thereby the sustainability of municipal water use. This paper evaluates the potential in that respect of two specific management tools: the cost of water for users (for demand control) and the physical efficiency of conveyance and distribution infrastructures (to control the balance between extraction and use). For that purpose, it is established the relationship between population, water use, physical efficiency, administrative efficiency and extraction requirement in a municipal water system; develop a long term extraction requirement forecast procedure that takes into account distinct scenarios with respect to the application of the aforementioned management tools; and, specify these scenarios based on the analysis of technical and financial data from municipal water utilities. It is presented a case study for the Laguna Metropolitan Area however the methodology could be applied to any other region. The results, combined with relevant hydrological information for the case study region, suggest that the application of the management tools could have a significant impact on municipal extraction requirements; however, this would be insufficient in and of itself to attain sustainability. For that, an integrated water resources management approach that considers simultaneously all types of water uses would be necessary.

Keywords: municipal water use, extraction requirement, growth, sustainability, Laguna Metropolitan Area.

JEL Classification: Q25, Q56.

Introducción

La tarea básica de los organismos operadores de agua consiste en proveer el líquido en cantidad y calidad suficientes para satisfacer las necesidades de sus usuarios. Aunado a los retos técnicos que ello en sí implica, el manejo del agua para uso público-urbano hoy en día envuelve un complejo conjunto de desafíos económicos, ambientales, tecnológicos administrativos y sociales que incluyen: garantizar el acceso al servicio de agua potable ante el acelerado crecimiento horizontal de las zonas urbanas; maximizar la eficiencia física de los sistemas, es decir, minimizar las pérdidas de agua por fugas en las infraestructuras de conducción y distribución; administrar de manera transparente y eficiente los recursos recaudados; educar a los usuarios en términos de la llamada “cultura del agua”, la cual busca básicamente la racionalización del consumo, y lograr la sustentabilidad ambiental. Este último punto implica el tratamiento de las aguas residuales para evitar la contaminación de los cuerpos receptores de los sistemas de alcantarillado, así como cuidar el equilibrio entre la extracción y la recarga en las fuentes de abastecimiento para prevenir su sobreexplotación.

En el Norte de México, la escasa disponibilidad natural de recursos hídricos y el alto dinamismo poblacional de las grandes áreas urbanas, agudizan todavía más la problemática de los organismos operadores. En este contexto, optimizar el uso de las fuentes de agua, ya integradas a los sistemas municipales de abastecimiento, representa un paso necesario hacia la sustentabilidad tanto ambiental como económica de las zonas urbanas. En este trabajo, para lograr el objetivo, se evalúan dos instrumentos de manejo: 1) el costo del agua para los usuarios, como medida de control de la demanda, y 2) la eficiencia física de las infraestructuras, como fuente para la expansión de la oferta; para ello, se desarrolla un marco metodológico general que se implementa en la Zona Metropolitana de la Laguna (ZML).

La ZML definida por SEDESOL (2007), agrupa a cuatro municipios de los estados de Durango (Lerdo y Gómez Palacio) y Coahuila (Matamoros y Torreón). Se incluye en la zona, para este estudio, a tres municipios colindantes (Francisco I. Madero, San Pedro y Viesca), los cuales reciben el servicio de agua potable por sistemas que también abarcan parte de la ZML. Estos siete municipios han conocido y seguirán teniendo un significativo crecimiento poblacional, de 1,275,423 habitantes según el último censo de población de 2005 del INEGI, pero cuya población llegará a 1,628,829 habitantes en 2030, según las proyecciones de la Comisión Nacional de Población (CONAPO). Por otra parte, con una precipitación media anual sólo de 260 mm/año y la ausencia de manantiales o corrientes permanentes (CONAGUA, 2002), el entorno natural de la zona de estudio se caracteriza por su aridez; la totalidad de su suministro de agua para uso público-urbano

proviene del acuífero denominado “Principal-Región Lagunera”, uno de los más severamente sobreexplotados del país (CONAGUA, 2008).

A continuación se presenta un marco metodológico que establece la relación, entre población, consumo, eficiencia física, eficiencia administrativa y requerimiento de extracción, en un sistema de suministro de agua para uso público-urbano, y desarrolla un procedimiento para el pronóstico del requerimiento de extracción con respecto a diversos escenarios en cuanto al costo del agua para los usuarios así como sobre la eficiencia física del sistema; además, determina las pautas para la especificación de estos escenarios con base en el análisis de datos técnicos y financieros de los organismos operadores de la zona de estudio. En la siguiente sección, se describen los datos que se emplean para el análisis de la relación entre el costo del agua para los usuarios y su consumo, así como para la estimación de la eficiencia física de los sistemas de agua de la zona de estudio; así mismo, se reporta y aprovechan los hallazgos para especificar diversos escenarios y calcular pronósticos del requerimiento de extracción hacia 2030. En la penúltima sección, se presenta una discusión sobre los resultados de este trabajo, en términos de sus alcances y limitaciones, así como su relación con la literatura relevante, y se evalúa la contribución potencial de los instrumentos de manejo anteriormente referidos hacia la sustentabilidad del suministro de agua; para ello, se emplea información del balance hidrológico del acuífero Principal-Región Lagunera. Finalmente, a modo de conclusión, se ofrecen recomendaciones para fomentar la sustentabilidad de los recursos hídricos de la región.

1. Metodología

Existen varias metodologías estándares para pronosticar el uso público-urbano de agua, desde sencillas proyecciones de tendencias hasta sofisticadas simulaciones que involucran múltiples parámetros (Billings y Jones, 1996; Boland, 1998). Una vez que se cuenta con los datos así como con los objetivos específicos, se desarrolla una metodología propia.

La base teórica del marco metodológico de este trabajo descansa en un balance de agua. Este balance relaciona un volumen de agua extraído de una fuente para abastecer un sistema municipal de agua, V^{Ext} , con el volumen de agua que efectivamente llega a los usuarios, V^{Uso} , así como el volumen de las pérdidas físicas (las fugas) que ocurren inevitablemente a lo largo del sistema, V^{Per} . De acuerdo con la naturaleza de los datos que más adelante se emplearán, es necesario distinguir entre el volumen de uso que genera facturación, V^{UsoF} , y el que no, V^{UsoNF} ; el uso no facturado representa una pérdida comercial para el sistema, la cual deriva por ejemplo de la existencia

de usuarios informales y/o irregulares. Considerando que el agua constituye una cantidad conservada en el sistema, el cual no crea ni destruye agua, tenemos entonces el siguiente balance:

$$V^{Ext} \equiv V^{Uso} + V^{Per} \equiv (V^{UsoF} + V^{UsoNF}) + V^{Per} \quad (1)$$

Aislando V^{UsoF} en (1) y dividiendo ambos lados por V^{Ext} , obtenemos tres cantidades que sirven para describir el desempeño del sistema:

$$\frac{V^{UsoF}}{V^{Ext}} \equiv \varepsilon \equiv 1 - \frac{V^{UsoNF}}{V^{Ext}} - \frac{V^{Per}}{V^{Ext}} \equiv 1 - \rho^{Com} - \rho^{Fis} \quad (2)$$

En la ecuación (2), el término ρ^{Com} (razón entre el uso no facturado y la extracción) representa un coeficiente de pérdida comercial; ρ^{Fis} (razón entre la pérdida física y la extracción), un coeficiente de pérdida física; la eficiencia global (física y comercial) del sistema, tomando en cuenta ambos tipos de pérdidas, se mide entonces por ε . Con base en la ecuación (2), se pronosticará el requerimiento de extracción en un período futuro t , con:

$$V_t^{Ext} = \frac{1}{(\varepsilon_t | k)} (V_t^{UsoF} | j) = \frac{1}{(1 - \rho^{Com} - \rho^{Fis} | k)} N_t [v_t^{UsoF} | j] \quad (3)$$

donde N_t representa la población de la región en el período t , y v_t^{UsoF} , el uso facturado *per cápita* (i.e., razón entre el volumen facturado y la población). En la ecuación (3), los valores futuros de eficiencia global ($\varepsilon_t | k$) así como de uso facturado *per cápita* ($v_t^{UsoF} | j$) se establecen con respecto a diversos escenarios k y j , respectivamente. Se especifican estos escenarios a partir del análisis de los datos de operación de los organismos operadores de la zona de estudio.

En el caso del uso facturado, el procedimiento para la especificación de los escenarios consta de varias etapas. Primero, se lleva a cabo un análisis de regresión que relaciona el uso facturado por toma (donde v , es la razón entre el uso facturado y el número de tomas) con un conjunto de variables explicativas. Estas variables incluyen: el costo del agua para los usuarios ($CostoUso$), que se calcula como la razón entre la recaudación de los organismos operadores por concepto de servicio de agua y el volumen de uso facturado, se trata entonces de un costo promedio para todos los usuarios domésticos, industriales y otros, que refleja también la capacidad de los organismos para efectivamente cobrar lo que facturan; la razón entre el número de tomas domésticas y el número total de tomas ($TomDom$) y, una

28 Ensayos

variable dicotómica (*Centro*), cuyo valor es 1 para las observaciones que corresponden al corazón urbano de la región -la mancha urbana conformada por los municipios de Torreón, Gómez Palacio y Lerdo- y 0 para las demás. La ecuación de regresión queda entonces, como:

$$v = f(\text{CostoUso}, \text{TomDom}, \text{Centro}) + \mu \quad (4)$$

donde μ es un término de error.

Con base en los resultados obtenidos de la regresión, se calcula la elasticidad-precio del uso facturado por toma, como:

$$e = \frac{\partial v}{\partial (\text{CostoUso})} \frac{(\text{CostoUso})}{v} \quad (5)$$

La elasticidad e calculada permite especificar los escenarios de uso con respecto a futuras variaciones en el costo del agua para los usuarios; se contemplan aumentos de 10% y 20%.

En el caso de la eficiencia global $\mathcal{E}$, primero se calcula su valor para el conjunto de los organismos operadores de la región; luego se establecen escenarios de reducción para el coeficiente de pérdida física ρ^{Fis} , manteniendo constante el coeficiente de pérdida comercial ρ^{Com} , ya que éste no incide en el requerimiento de extracción. Ello se comprueba con base en las expresiones (1) y (2); de donde se tiene, que $V^{Ext} = (V^{UsoF} + V^{UsoNF}) / (1 - \rho^{Fis})$, por lo que, la proporción en la cual se divide el uso entre el facturado y el no facturado, resulta irrelevante con respecto al requerimiento de extracción. Las reducciones contempladas para ρ^{Fis} , en los escenarios, son hasta cierto punto arbitrarias. Más adelante, en la sección de discusión, se explica su relación con el desempeño en la actualidad de uno de los más eficientes sistemas del norte del país, operado por Agua y Drenaje de Monterrey; por ende, se limitan esas reducciones a no más del 10%, considerando que típicamente las acciones necesarias para reducir las fugas en un sistema de agua -por ejemplo, el reemplazo de tuberías de conducción- suelen ser costosas, además de técnica y logísticamente complejas.

2. Datos y resultados

2.1 Elasticidad-precio del uso y escenarios de uso futuro

La tabla ofrece un resumen de los datos de los organismos operadores de la región que se emplean para el análisis del uso y el desarrollo de escenarios

de uso futuro. En total, son treinta y una observaciones que incluyen cuatro años de datos para siete de los ocho organismos operadores, y tres años de datos para el organismo restante. Para cada variable de la ecuación de regresión (4), se reporta el mínimo, el promedio y el máximo observado en la base de datos. El uso por toma así como el costo del agua para los usuarios presentan grandes variaciones en la base de datos, lo que justifica *ex ante* la conveniencia de proceder con un análisis de regresión.

Tabla 1
Resumen de los datos para el análisis del uso

		$v^{(a)}$ (m ³ /año)	$CostoUso^{(b)}$ (\$/m ³)	$TomDom^{(c)}$ (prop.)
2004	Mín.	169.91	1.51	0.9201
	Prom.	226.08	3.86	0.9611
	Máx.	368.60	5.57	0.9870
2005	Mín.	158.92	1.31	0.9212
	Prom.	222.30	4.31	0.9614
	Máx.	368.06	7.31	0.9817
2006	Mín.	172.32	1.71	0.9231
	Prom.	218.04	4.32	0.9603
	Máx.	368.03	6.68	0.9767
2007 ^(d)	Mín.	168.36	1.83	0.9222
	Prom.	222.52	4.40	0.9563
	Máx.	369.15	7.20	0.9734

(a) v : uso facturado por toma; (b) $CostoUso$: costo promedio del agua para los usuarios; (c) $TomDom$: proporción de tomas domésticas en el total de tomas.

(d) Datos para siete de los ocho organismos operadores.

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por el Consejo Ciudadano por el Agua de La Laguna (CCAL).

Se especifica para la estimación de la ecuación (4) dos formas funcionales, una lineal y otra lineal en logaritmos, y se corren tres regresiones sobre cada modelo. En cada caso, las regresiones incluyen el costo del agua para los usuarios ($CostoUso$) así como un término constante α_0 . La tabla 2 presenta los resultados de las regresiones: el valor estimado de los coeficientes asociados a las variables incluidas; en paréntesis se presenta la estadística de Student correspondiente, y la estadística de la R^2 , ajustada con respecto al número de variables explicativas.

Tabla 2
Resultados del análisis de regresión del uso por toma (v)

	α_0	<i>CostoUso</i> α_1	<i>TomDom</i> α_2	<i>Centro</i> α_3	R^2 Ajust.	F	LLF
(1)	1158.8 (1.627)*	-35.930 (-3.869)***	-828.96 (-1.159)	30.003 (1.262)	0.3663	6.780***	-162.156
(2)	1199.2 (1.668)*	-30.536 (-3.666)***	-883.65 (-1.225)		0.3529	9.179***	-163.044
(3)	333.94 (12.16)***	-29.165 (-4.014)***		31.673* (1.327)	0.3585	9.383***	-162.908
(4)	5.9514 (59.79)***	-0.53016 (-5.783)***	-2.4119 (-1.215)	0.12136 (1.672)*	0.5555	13.496***	15.8095
(5)	5.8900 (61.71)***	-0.47579 (-5.381)***	-3.1587 (-1.584)*		0.5270	17.711***	14.2827
(6)	5.9657 (59.85)***	-0.47283 (-5.964)***		0.14123 (1.980)**	0.5479	19.179***	14.9838

* Significativo al 90%; ** significativo al 95%; *** significativo al 99% o más;

Los modelos de regresión son:

$$(1)-(3): v = \alpha_0 + \alpha_1 \cdot \text{CostoUso} + \alpha_2 \cdot \text{TomDom} + \alpha_3 \cdot \text{Centro} + \mu$$

$$(4)-(6): \ln v = \ln \alpha_0 + \alpha_1 \cdot \ln \text{CostoUso} + \alpha_2 \cdot \ln \text{TomDom} + \alpha_3 \cdot \ln \text{Centro} + \mu$$

El número de observaciones para todas las regresiones es de 31.

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de las regresiones presentan un alto grado de estabilidad y congruencia. En todos los casos, el valor estimado del coeficiente α_1 asociado al costo del agua para los usuarios es negativo y altamente significativo: *ceteris paribus*, entre más alto el costo, menor el uso por toma. De la misma manera, el efecto de la ubicación en el centro urbano de la región (medido por α_3) es siempre positivo y por lo general estadísticamente significativo. En el caso de la proporción de tomas domésticas, el efecto (medido por α_2) es siempre negativo, dado que las tomas domésticas tienden a consumir menos agua que las demás (*i.e.*, las tomas industriales), pero el efecto no es estadísticamente fuerte, debido probablemente a la relativamente baja proporción de tomas *no* domésticas en el total de tomas. El desempeño del modelo lineal en logaritmos resulta superior al del modelo lineal: explica más de la mitad de la variabilidad observada en los datos de uso por toma según la R^2 , *versus* un poco más del tercio para el modelo lineal. Aplicando directamente la fórmula (5) al modelo lineal en logaritmos, se obtiene que la elasticidad-precio e del uso facturado por toma se ubica entre -0.47 y -0.53, por lo tanto, se puede concluir, que: un aumento del 10%

en el costo se asocia a una reducción de aproximadamente 5% en el uso por toma.

En la tabla 3 aparecen tres escenarios de uso para 2030. Los escenarios se definen con respecto a valores observados para un año de referencia, 2005. En la segunda columna de la tabla, se reporta para este año la población agregada para los siete municipios de la región (N_t), así como la suma de los volúmenes de uso facturado para los ocho organismos operadores que dan servicio a estos municipios (V^{UsoF}). Dividiendo este volumen por la población, se obtiene un uso facturado *per cápita* (v^{Uso}) de 58.78 m³/año. En el primer escenario ($j=1$), se mantiene constante este valor; multiplicándolo por la población proyectada para 2030, se obtiene un volumen de uso facturado de 95,746,837 m³/año. El segundo escenario ($j=2$) contempla una reducción del 5% en el uso facturado *per cápita* hacia 2030, es decir, un aumento en el costo del agua para los usuarios del 10% según la elasticidad estimada anteriormente; en el tercer escenario ($j=3$), la reducción en el uso facturado *per cápita* es del 10%, es decir, el aumento en el costo del agua es del 20%.

Tabla 3
Escenarios de uso futuro

	$t=2005$	$t=2030$		
		$j=1$	$j=2$	$j=3$
N_t (habitantes)	1,275,423 ^(a)		1,628,829 ^(b)	
V^{UsoF} (m ³ /año, per cápita)	58.78	58.78	55.84	52.90
V^{UsoF} (m ³ /año)	74,972,706 ^(c)	95,746,837	90,959,495	86,172,153

(a) Suma de las poblaciones estimadas en INEGI - II Censo de Población y Vivienda 2005 para los municipios de Francisco I. Madero, Matamoros, San Pedro, Torreón, Viesca, Gómez Palacio y Lerdo. (b) Suma de las proyecciones de población para el 2030 en Consejo Nacional de Población (CONAPO). Proyecciones de la Población de México 2005-2050, para los siete municipios listados en la nota anterior. (c) Cifra calculada con base en datos proporcionados por el CCACL.

Fuente: Elaboración propia.

2.2 Eficiencia global y escenarios futuros de eficiencia física.

A continuación, la tabla 4 presenta tres escenarios de eficiencia global para el año 2030, que se definen con respecto a valores observados para el año 2005. En la segunda columna de la tabla se reporta, para este año de referencia, la capacidad de extracción instalada operando en la región (equivalente a la suma de las capacidades reportadas por los ocho

32 Ensayos

organismos operadores), así como las horas diarias de operación (es decir, el promedio ponderado de las horas de operación reportadas por los organismos operadores). Con base en estas cifras, se calcula el volumen de extracción total para la región, V^{Ext} (157,723,362 m³); si se saca la razón entre el volumen de uso facturado, V^{UsoF} , y la extracción, se obtiene una eficiencia global ε de 0.47534. En las últimas dos filas, se desagrega esta eficiencia en sus dos componentes: considerando un valor de 0.30 para el coeficiente de pérdida física, se obtiene el coeficiente de pérdida comercial como residuo, según la ecuación (2). Estos valores, aunque no constituyan datos duros, se validaron ante los representantes de los principales organismos operadores de la región; además, hay que subrayar que sólo la suma de los dos coeficientes -y no el valor particular de cada uno- incide en el cálculo del requerimiento de extracción, como puede verse en la ecuación (3).

En el primer escenario ($k=1$), se mantienen constantes los valores calculados para 2005. El segundo escenario ($k=2$) contempla una reducción del 5% en el coeficiente de pérdida física y una pérdida comercial constante; en el tercer escenario ($k=3$), la reducción en el coeficiente de pérdida física es del 10% y la pérdida comercial se mantiene constante.

Tabla 4
Escenarios de eficiencia futura

	$t=2005$	$t=2030$		
Capacidad (l/s)	5,120			
Operación (horas/día)	23.44			
V^{Ext} (m ³)	157,723,362	$k=1$	$k=2$	$k=3$
V^{UsoF} (m ³ /año)	74,972,706			
E (prop.)	0.47534	0.47534	0.52534	0.57534
ρ^{Com} (prop.)	0.22466	0.22466	0.22466	0.22466
ρ^{Fis} (prop.)	0.30000	0.30000	0.28500	0.27000

La relación entre ε , ρ^{Com} y ρ^{Fis} es: $\varepsilon \equiv 1 - \rho^{Com} - \rho^{Fis}$ - véase la ecuación (2).

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por el CCAL.

2.3 Pronósticos de requerimiento de extracción.

Se reporta en la tabla 5, una matriz de nueve pronósticos de requerimiento de extracción, calculados según la ecuación (3) y con respecto a los escenarios presentados en las tablas 3 y 4. La celda (1,1) de la matriz se interpreta como un pronóstico tendencial: si se mantiene el uso facturado *per cápita* (el costo del agua para los usuarios) y la eficiencia global en los valores del año 2005,

el requerimiento de extracción llegará a 201,419,128.67 m³ en 2030. Las demás celdas de la matriz capturan el efecto de reducciones en el uso *per cápita* -mediante un incremento en el costo del agua para los usuarios- así como en las pérdidas físicas; una reducción de 10% en ambas variables -celda (3,3)- reduce el requerimiento de extracción hasta 149,762,914.76 m³.

Tabla 5
Pronósticos de requerimiento anual de extracción (m³), 2030

Escenarios	$k=1$ ($\varepsilon=0.47534$)	$k=2$ ($\varepsilon=0.52534$)	$k=3$ ($\varepsilon=0.57534$)
$j=1$ ($v^{UsoF}=58.78$)	201,419,128.67	182,247,707.00	166,409,529.86
$j=2$ ($v^{UsoF}=55.84$)	191,344,745.57	173,132,221.14	158,086,222.31
$j=3$ ($v^{UsoF}=52.90$)	181,270,362.48	164,016,735.29	149,762,914.76

Cada pronóstico se calcula con: $V_{2030}^{Ext} = \frac{1}{(\varepsilon_{2030}|k)} \cdot N_{2030} \cdot [v_{2030}^{UsoF} | j]$, véase la ecuación (3); el

volumen de extracción que se estimó para 2005, es de 157,723,362 m³ (tabla 4).

Fuente: Elaboración propia.

3. Discusión

Los pronósticos presentados en la sección anterior ilustran el efecto del manejo de la demanda, mediante incrementos en el costo del agua para los usuarios, así como de la oferta, mediante reducciones en las pérdidas físicas en los sistemas municipales de agua potable, sobre el requerimiento de extracción de la zona de estudio. Tales pronósticos permiten cuantificar en qué medida la aplicación de los instrumentos de manejo, al reducir este requerimiento, promovería la sustentabilidad del suministro de agua en el largo plazo, frente al crecimiento poblacional proyectado.

Las reducciones en el uso *per cápita* contempladas en los escenarios de manejo se calibraron en base a una relación estadísticamente fuerte, presente en los datos de los organismos operadores de agua de la zona de estudio, entre lo que pagan los usuarios y su consumo. Cabe recalcar que la elasticidad-precio correspondiente se estimó con datos anuales, eliminando las múltiples fuentes de variación de corto plazo que presenta el uso público-urbano de agua, por ejemplo: las variaciones con respecto a las horas del día, los días de la semana, así como los meses o estaciones del año, las cuales no

intervienen en el requerimiento de extracción anual y, por ende, no son de interés para este estudio.

En las últimas tres décadas, se ha desarrollado una amplia literatura empírica acerca de los determinantes del uso municipal de agua.¹ En el caso de México, se han llevado a cabo también estudios de este tipo, incluso para algunas grandes zonas urbanas del norte del país, como: Chihuahua (Fullerton *et al.*, 2003), Ciudad Juárez (Fullerton *et al.*, 2006) y Tijuana (Fullerton *et al.*, 2007). Resulta difícil comparar los resultados obtenidos de la literatura, entre sí, con los obtenidos aquí, por varias razones. Primero, por los distintos enfoques en cuanto a la escala de tiempo contemplada y las distintas frecuencias de los datos empleados; por ejemplo, en los tres trabajos anteriormente citados, el enfoque es de corto plazo, los datos son mensuales y se hace énfasis en las variaciones mensuales de la demanda debido al clima y la actividad económica. Segundo, por las distintas formas de medir el precio del agua para los usuarios; por ejemplo, Guzmán-Soria *et al.* (2009), usan la tarifa oficial para un determinado rango de consumo, en el cual caben la mayoría de los usuarios de su zona de estudio, como el estado de Guanajuato, en vez de la recaudación. Tercero, por las condiciones particulares de cada zona, en términos no solamente económicos, sino también sociales y culturales, entre otros, las cuales determinan qué tan sensible es la demanda al costo del agua para los usuarios.

No obstante lo anterior, de la literatura se desprende un sólido consenso: el costo del agua para los usuarios es un determinante significativo del consumo, y la elasticidad-precio del agua es negativa y mayor a -1.0 (por lo general, las cifras reportadas oscilan entre -0.2 y -0.8). El valor obtenido aquí (entre -0.47 y -0.53) es entonces verosímil, aún más si se consideran las excelentes propiedades de las regresiones presentadas en la tabla 2. La interpretación económica de esta elasticidad es clara: entre más elevado el costo del agua para el usuario, mayor incentivo tiene para limitar su consumo. Las medidas que lo permiten, tanto en el sector doméstico como industrial, incluyen desde cambios de hábitos sin consecuencias financieras para el usuario (*v. gr.*, reducir el tiempo o frecuencia de actividades de limpieza), hasta costosas inversiones en infraestructura (*v. gr.*, instalación de tubería nueva en casas o fábricas). No es posible cuantificar el potencial en la zona de estudio para la realización de tales ahorros; sin embargo, las reducciones en el uso *per cápita* contempladas en los pronósticos son suficientemente leves para ser técnicamente factibles y costeables. Además, la disposición a pagar de los usuarios puede superar lo que efectivamente es cobrado por el servicio, como lo comprueban Vásquez *et al.* (2009), en el

¹ Véase Worthington y Hoffman (2008) para un extenso resumen de la literatura internacional sobre el tema.

caso del municipio de Parral, Chihuahua, lo que sugiere la factibilidad de un aumento en el costo del agua.

La factibilidad técnica y económica de las mejoras en la eficiencia física de los sistemas municipales de agua, contempladas en los escenarios, representa una cuestión más delicada. Estos sistemas abarcan cientos de kilómetros de tuberías con gran diversidad de antigüedades, materiales y estados. Para identificar dónde se encuentran las mejores oportunidades de inversión para la reducción de fugas, sería necesario tener información precisa acerca del desempeño de cada tramo de los sistemas con base en una extensa capacidad de medición y monitoreo. En la actualidad, los organismos operadores de la zona de estudio no cuentan con esta capacidad; algunos ni siquiera disponen de mapas a escala de la red que operan. En este contexto, más allá de ejercer un control en el consumo, incrementar la recaudación podría contribuir al desarrollo de esta capacidad. Nótese que el valor del coeficiente de pérdida física más bajo (0.27) -contemplado en los escenarios- corresponde al registrado en la actualidad en el sistema operado por Agua y Drenaje de Monterrey (Agua y Drenaje de Monterrey, 2009); lo cual indica que, por lo menos, tal meta no carece de sustento.

Finalmente, la interpretación de los pronósticos requiere considerar la realidad hidrológica de la región. A continuación, la tabla 6 ofrece un resumen del balance hidrológico del acuífero Principal-Región Lagunera. Se reporta la recarga natural, la recarga inducida (por infiltraciones en campos de riego y fugas en sistemas de agua), así como las extracciones por tipo de uso (agrícola, público-urbano y otros). Nótese que la sola recarga natural, estimada en 275,100,000 m³/año, pudiera ampliamente cubrir el más elevado pronóstico de requerimiento de extracción para el año 2030: 201,419,128.67 m³/año (tabla 5). No obstante, restando la extracción total de la recarga total, se obtiene el cambio de almacenamiento en el acuífero, cuyo valor negativo (-702,900,000 m³/año) indica una condición de sobreexplotación. En realidad, la sobreexplotación de un acuífero durante un año particular no representa necesariamente un problema de sustentabilidad, si en un año posterior se compensa con una menor relación entre extracción y recarga. Sin embargo, en este caso, la sobreexplotación ha sido histórica y sistemática: se reporta un abatimiento promedio de 1.25 m³/año en el nivel del acuífero durante el período 1975-1999, así como un coeficiente de almacenamiento (razón entre el volumen de agua presente y la capacidad del acuífero) de tan sólo 15.62%, al final de este período (CONAGUA, 2002). Acercarse tanto al límite de la disponibilidad de reservas de agua constituye un problema mayor, ya que la recarga anual es por naturaleza variable; si llegase a sobrevenir una sequía prolongada, con varios años sin recarga significativa para el acuífero, la región se quedaría literalmente sin agua subterránea.

Tabla 6
Balance hidrológico, acuífero Principal-Región Lagunera (m³/año)

Recarga (1)		Extracción (2)		(1) – (2)
Natural	243,800,000	Uso agrícola	1,045,200,000	
Inducida	275,100,000	Uso público-urbano	127,800,000	
		Otros usos	48,800,000	-
Total	518,900,000	Total	1,221,800,000	702,900,000

Los datos son para el 1999.

Fuente: Elaboración propia con base en CONAGUA (2002).

Conclusiones

Los resultados de este trabajo sugieren que el manejo de la demanda y de la oferta de agua para uso público-urbano pudiera tener un impacto significativo sobre el futuro requerimiento de extracción de la zona de estudio. Sin embargo, la implementación de tales medidas no sería un asunto trivial, ya que supondría un nivel de capacidad institucional y de coordinación entre los organismos operadores de agua de la región que en la actualidad no existe.

En el curso de esta investigación, se encontraron importantes carencias en la información básica requerida para el manejo del agua. No existen mediciones directas de los volúmenes extraídos de los pozos de la región, por lo cual, fue necesario estimar en base a la capacidad de bombeo instalada y las horas de operación reportadas por los organismos operadores. Esos datos son insuficientes, ya que el volumen efectivamente extraído depende también del estado del acuífero; en particular, el nivel freático. Tampoco existen mediciones directas de la eficiencia física de los sistemas, lo que impediría la identificación de las mejores oportunidades para reducir las fugas en sus distintos subcomponentes y tramos. La solución a este problema de información no se limita a la instalación de los equipos de medición correspondientes; también se tendría que asegurar la capacidad institucional para mantenerlos, tomar lecturas periódicas, hacer acopio de la información recabada, analizarla e integrar los resultados en los planes de manejo.

Un alto nivel de coordinación entre los organismos operadores de la región es un requisito para lograr un manejo sustentable del agua, ya que las acciones individuales por sí mismas, tendrían poco efecto. De ahí deriva la oportunidad de evaluar la posibilidad de fusionar los organismos en una sola entidad operativa. Además, tal fusión pudiera generar economías a escala, y

propiciar el fortalecimiento de la capacidad institucional. Ya que todos los organismos explotan la misma fuente de agua y que, en muchos casos, los territorios atendidos se entrecruzan entre los distintos municipios, no debería haber ningún impedimento técnico para la realización de este tipo de racionalización y reestructuración del servicio de agua en la región.

Más allá de lo anterior, los resultados de este trabajo también revelan la necesidad de abordar el manejo sustentable del agua de manera integrada. Se comprueba que reducir el crecimiento en la extracción para uso público-urbano, e incluso mantener el requerimiento en el nivel observado en el año 2005, resultaría insuficiente para alcanzar la sustentabilidad, ya que el uso público-urbano sólo representa una fracción del total extraído del acuífero: más del 85% se destina al uso agrícola (*i.e.*, el riego de cultivos). Por ende, un enfoque sectorial resulta inadecuado; un manejo sustentable requiere un enfoque integrado, que incluya a los diferentes tipos de usuarios, en particular a los agrícolas.

Para concluir, es preciso reflexionar sobre el concepto mismo de uso sustentable del agua. Desde el punto de vista de la ciencia económica, el agotamiento de un recurso natural no necesariamente representa un problema de sustentabilidad; siempre y cuando un sustituto esté disponible. En la región Lagunera, existe tal recurso, que pudiera sustituir al acuífero: en las afueras de la ZML, el Distrito de Riego 017 Región Lagunera recibe volúmenes de aguas superficiales muy superiores a las necesidades para uso público-urbano de la región; en el año agrícola 2005-2006 por ejemplo, se entregó al distrito 715,126,000 m³ (CONAGUA, 2007). Dado que la región no enfrenta una escasez absoluta de agua, el agotamiento del acuífero Principal-Región Lagunera se podría abordar entonces como un problema de elección entre dos alternativas: preservar el acuífero mediante un manejo sustentable *versus* seguir con la sobreexplotación, para luego pasar al aprovechamiento de la fuente superficial que alimenta al distrito de riego. *A priori*, el manejo sustentable del acuífero no necesariamente representa el mejor curso de acción, habría que investigar a fondo los beneficios y costos de cada alternativa para identificar la mejor elección.

Referencias

- Agua y Drenaje de Monterrey I.P.D. (2009). *Documento base de análisis sobre el sector agua para la elaboración del Plan Estatal de Desarrollo 2010-2015*. Monterrey, Nuevo León, 15.
- Billings, R. and C. Jones (1996). "Forecasting Urban Water Demand." Denver, Colorado: American Water Works Association, 179.

38 Ensayos

- Boland, J. (1998). "Forecasting Urban Water Use: Theory and Principles." In D.D. Baumann, J.J. Boland, & W.M. Hanemann, *Urban Water Demand Management and Planning*, New York: McGraw-Hill, 77-94.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) (2007). *Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego 2005-2006*. México, D.F.
- _____. (2008). *Estadísticas del Agua en México*. México, D.F.
- _____. (2002). Subdirección General Técnica, Gerencia de Aguas Subterráneas, Subgerencia de Evaluación y Modelación Hidrogeológica. *Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero Principal, Estados de Durango y Coahuila*. México, D.F.
- Consejo Nacional de Población (CONAPO). *Proyecciones de la Población de México 2005-2050*.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). *II Censo de población y vivienda 2005*.
- Guzmán-Soria, E., J. Hernández, J. García, S. Rebollar, M. de la Garza and D. Hernández (2009). "Groundwater Consumption in Guanajuato, Mexico." *AgroCiencia*, 43, 749-761.
- Fullerton T. and A. Nava (2003). "Short-Term Water Dynamics in Chihuahua City, Mexico." *Water Resources Research*, September, 39.
- _____, R. Tinajero and M. Barraza de Anda (2006). "Short-Term Water Consumption Patterns in Ciudad Juarez, Mexico." *Atlantic Economic Journal*, 34, 467-479.
- _____, ____ and J. Mendoza Cota (2007). "An Empirical Analysis of Tijuana Water Consumption." *Atlantic Economic Journal*, 35, 357-369.
- Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) (2007), Consejo Nacional de Población (CONAPO), Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). *Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2005*. México D.F.
- Vásquez, W., P. Mozumder, J. Hernández and R. Berrens (2009). "Willingness to Pay for Safe Drinking Water: Evidence from Parral, Mexico." *Journal of Environmental Management*, 90, 3391-3400.
- Worthington, A. and M. Hoffman (2008). "An Empirical Survey of Residential Water Demand Modelling." *Journal of Economic Surveys*, 22(5), 842-871.

The Evolutionary Processes for the Populations of Firms and Workers

Elvio Accinelli Gamba*
Edgar J. Sánchez Carrera**

Fecha de recepción: 26 X 2009

Fecha de aceptación: 2 II 2010

Abstract

This paper analyzes the cultural evolution of firms and workers. Following an imitation rule, each firm and worker decides whether to be innovative (or not) and skilled (or unskilled). We apply evolutionary game theory to find the system of replicator dynamics, and characterize the low-level and high-level equilibria as Evolutionarily Stable Strategies (ESS) “against the field.” Hence, we study how a persistent state of underdevelopment can arise in strategic environments in which players are imitative rather than rational maximizers. We show that when the current state of the economy is in the basin of attraction of the poverty trap, players should play against the field if they want to change their status quo. The threshold level to overcome the poverty trap can be lowered if there is an appropriate policy using income taxes, education costs and skill premia. Hence, we study the replicator dynamics with a subsidy and payoff taxation to overcome the poverty trap.

Keywords: Imitative behavior, conformism, poverty traps, skill premium, strategic complementarities.

JEL Classification: C72, C79, D83, O12.

*Facultad de Economía, Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
Address: Av. Pintores S/N. Fraccionamiento Burócratas del Estado. CP 78263. San Luis Potosí, SLP, México.

E-mail: elvio.accinelli@eco.uaslp.mx

The author is grateful to CONACYT-Mexico (Project 46209) and UASLP Secretaría de Posgrado (Grant C07-FAI-11-46.82) for their research support.

**Department of Economics, University of Siena.

E-mail: sanchezcarre@unisi.it

We thank to Costas Azariadis, Sam Bowles and Simon Halliday for their helpful feedback to improve this research. The usual disclaimer applies.

Resumen

En este trabajo se analiza la evolución cultural de trabajadores y firmas, como determinante de la evolución social de una economía dada. Siguiendo una conducta imitativa firmas y trabajadores optan por ser calificados (o no) o ser innovadores (o no). Las reglas implícitas en este proceso son modeladas mediante un sistema dinámico cuyas soluciones, dependiendo de condiciones iniciales, son las que determinan qué imitar y definen la evolución futura de la sociedad. Dicha evolución puede conducir a un equilibrio bajo y por una senda de bajo crecimiento, donde los trabajadores prefieren no ser calificados y las firmas, no ser innovadoras; o a un equilibrio alto, donde puede coexistir un porcentaje alto de trabajadores calificados y firmas innovadoras con un porcentaje de trabajadores no calificados y firmas no innovadoras. La senda que se transite depende de las condiciones iniciales existentes en la economía. El primero de los equilibrios es una trampa de pobreza, que aparece como un atractor local del sistema dinámico. Las trayectorias que definen la evolución, quedan identificadas por pares estratégicos sobre las mejores respuestas de las firmas y/o trabajadores en la elección del otro, conformando un proceso evolutivo de estrategias complementarias. Se introduce el concepto de estrategias evolutivamente estables (ESS) contra el campo, para analizar la persistencia de determinadas respuestas ante modificaciones en las condiciones estructurales de la economía. Finalmente, se muestra el papel del planificador central para ubicar a la economía en condiciones iniciales que la lleven, por sus propias leyes, a un equilibrio alto.

Palabras Clave: Comportamiento imitativo, trampas de pobreza, estrategias complementarias, premios al desempeño.

Clasificación JEL: C72, C79, D83, O12.

Introduction

The notion of strategic complementarities is widely studied. It is well understood and accepted that the complementarity between R&D (innovative firms) and human capital accumulation (skilled workers) is an engine of economic growth (Lucas, 1988). Early research about the complementarity of R&D and human capital was carried out by Nelson and Phelps (1966) and Schultz (1975), who pointed out that the major role of education is to adapt, and to generate new technologies; that is, to adapt technological changes generated by innovative firms. Redding (1996) formalized this idea using an R&D-based growth model developed by Aghion and Howitt (1999). He showed the existence of strategic complementarities between workers' investment in education and firms' investment in R&D, and then

demonstrated how a development trap would result when both types of investment are inactive. More recent studies develop different models to prove that high-skilled labor and high-technology firms are complements; they require this proof in order to prove the existence of a high-level equilibrium, particularly see Acemoglu (1997, 1998). In fact, it is generally thought that new technologies reduce the demand for unskilled workers and increase the demand for skilled workers, since skilled workers adapt more easily to technological change. This is the well-known notion of “Skill-Biased Technological Change” which implies a shift in the production technology that favors skilled over unskilled labor by increasing skilled labor’s relative productivity and, therefore, its relative demand (see Acemoglu, 2002; Aghion, 2006; Hornstein *et al.*, 2005).

Moreover, a number of recent contributions have emphasized the role of skill resources as a crucial constraint on selecting the technological profile to implement in developing economies. Greenwood and Yorukoglu (1997), for instance, consider that adopting investment-specific technical change requires specific human capital, physical capital, and an increase in skilled labor. Hendricks (2000) develops a model of growth through technology adoption focusing on the complementarities between technologies and skills. Workers’ skills and firms’ technological profiles are complementary because the level of available skills limits the profile of technologies firms can use, while the technological profile determines the rate of learning. Benhabib and Spiegel (1994), by focusing on the role of human capital in economic development, suggest that human capital facilitates the adoption of technology from abroad and creates domestic technology. This evidence reinforces the importance of matching among the skills and the technological profile. There are two well known approaches. The first, more conventional, approach is the “Skill-biased Technological Change” approach (see papers by Berman *et al.* (1994) in the US, Haskel and Heden (1999) in the UK, and Machin and Van Reenen (1998) extend the approach to continental Europe) where the investments in R&D, new products, new processes, new technologies and even the ICT (Information and Communication Technologies) increase the firms’ demand for skilled workers, assuming firms and workers know how to implement the new technologies (see the “absorptive capacity” by Cohen and Levinthal (1990, 131) where “an organization’s absorptive capacity will depend on the absorptive capacities of its individual members”). Skilled labour is a necessary complement to R&D activities in reinforcing the absorptive capacity of a given firm and new technologies become more effective. The second theory supports the endogeneity of the phenomenon (referring to approaches that have complementarities), *i.e.*, the endogenous skill-biased suggesting that skilled workers are responsible for inducing firms to invest in new technologies, see Kiley (1999), and Funk and Vogel (2004).

In this vein, this paper studies the strategic complementarities between R&D and Human Capital. But our approach is quite different from the above references, since we analyze the evolutionary dynamics with an evolutionary game theoretical approach. Evolutionary games introduce two new points of view in the classical approach given by the game theory of the economic problems. The first one is the introduction of the concept of Evolutionarily Stable Strategy (ESS) and the second one is the evolutionary dynamic. The first one was introduced by Maynard Smith in 1982 in his book *Evolution and the Theory of Games*. This concept, basically, is a refinement of the Nash Equilibrium (NE) concept, indicating the stability of a strategy as a best response. An evolutionarily stable strategy is a best response that continuous being a best response, even after perturbations of the original conditions, Taylor (1979). The second point of view that evolutionary game theory introduces, refers to the evolution of system modeled as a game, and here the understanding of evolution, in evolutionary game theory, is not the usual as in repeated games and/or differential games. The evolution in this theory is modeled by a dynamical system, whose equations are determined by the behavioral rules existing in a given time, and in a given system, biological, social or economic, that is being modeled as a game. So under this approach we can consider an economy as an evolutionary system, where the behavioral rules of the individuals determine the evolution of the economy. These rules are mathematically modeled by a dynamical system, and under additional hypothesis, the solutions of this system are evolutionarily stable strategies. Moreover, evolutionary game theory does not explain the evolution of the economy for individuals or agents that are completely rational or rational maximizers.

Instead, evolutionary game theory takes into account that in some cases (in most of them) individuals do not act in a rational way, at least in the perspective of the economy as a whole trying to reach a social maximum benefit. Even, if the individuals understand that they need to do the best, at least for themselves, their end behavior, some times, leads the economy into a path of low economical performance or even caught in poverty trap. We know that standard growth theory teaches us that poverty traps are stable-low level balanced growth paths to which economies gravitate due to adverse initial conditions or poor equilibrium selection. In other words, economies fail to generate sustained growth because they started poor, as Azariadis and Drazen (1990) mention due to low longevity or poor human capital, or else because they cannot invent better institutions that coordinate their investments successfully. Therefore, in this paper, we explain this pernicious form of coordination as one equilibrium of an evolutionary game characterized by complementarities between firms and workers. Hence, our research question states that:

“From the basic ideas of a standard growth model of human capital and R&D, what happens if we drop the assumption of rational maximizers agents (or rational expectations) and apply imitation rules (or imitative agents) instead?”

Hence, we can analyze the dynamical stability of the solution of a dynamical system that represents the change in the behavior of the individuals, and at the same time the stability of this behavior is a strategy followed in the conflict. We find that the rationality of the economic agents, can be one of the main factors to maintain the economy in a path going to a low level of equilibrium, but in other cases this rationality can be an engine to overcome a situation of low performance, in particular a poverty trap. The role that rationality plays, depend on the initial conditions.

Therefore, we analyze a two-population game as a matching process between the economic agents that are firms and workers. First, we assume that firms have two strategies, innovative or non-innovative, depending on whether they invest in R&D. Workers' strategies are skilled or unskilled, depending on whether they invest in human capital or not. Wages are conditional on worker's type but are exogenously fixed in the model. There are two pure Nash equilibria: innovative firms with high ability workers and non-innovative firms with low ability workers. We analyze the game in an evolutionary setting with random matching between firms and workers. We consider imitative behavioral rules as the mobilizing force behind cultural evolution, Matsuy (1996). In this vein, we assume that the probability that an agent (either a firm or a worker) will imitate a successful agent is based on two factors: first, the probability that an agent meets a more successful agent, and, second, the probability that the agent will be better off if they adopt the successful agent's strategy, for more details refer to Apesteguia *et al.* (2007) and Schlag (1998, 1999). Therefore, we study an imitation game where the nature of interactions among agents creates a potential for multiple equilibria. These equilibria are characterized by different levels of “activity” (high-skilled workers, innovative firms) in the economy. A low-level equilibrium arises when non-innovative firm and low-skilled workers predominate. We show that when firms invest in R&D to become innovative, they are successful only in the presence of a sufficiently high number of high-skilled workers, following Redding (1996). At the same time, workers are only encouraged to improve their skills when a large number of firms invest in R&D. Conversely, firms that do not invest in R&D do not look for high-skilled workers, and therefore make the accumulation of skills unprofitable for workers. Hence, the distribution of the types of firms and workers changes over time. These changes can be understood as cultural

evolution, where cultural evolution refers to changes in beliefs or behavior over time.

We argue that, this research is relevant because it shows that imitation¹ can drive economies toward prosperity or poverty depending on initial conditions and on exogenous shocks. The model suggests that imitation determines a worker's choice about education (or human capital accumulation) and a firm's decision to invest in R&D. Moreover, the model shows that the market cannot solve the problem itself. But, by imputing agency to individuals, or by giving power to a government (central planner) we can overcome the problem and use either collective action or central planning to overcome an equilibrium and move to another. This work therefore reinforces other works on market failures, while showing that implementable solutions still exist. The crucial parameters that encourage firms and workers to adopt innovation and skills are education or training costs, skill premia and income taxes as policies to create incentives for investment in R&D. To model evolution we maintain the perspective of evolutionary game theory with its models characterized by the replicator dynamics. This perspective allows to relax the strong rationality assumptions characteristic of classical game theory and to capture explicitly the dynamics of the decision-making process.

The structure of the paper is as follows. Section 1 presents the one-shot game. Section 2 presents the evolutionary game, stating the main definitions about evolutionarily stable strategies, population flows and the imitation rule to get the system of replicator dynamics. Subsection 2.3 studies the stability of the steady state using the replicator dynamics. Section 3 proposes how the poverty trap can be avoided when an agent faces the current economic environment, playing against the field. Subsection 3.1 analyzes the intervention of policy makers through an implementation of payoff taxation and subsidies to overcome the poverty trap. The last section concludes.

1. The Game

It is considered a model of two populations: workers, W , and firms, F , based on Accinelli *et al.* (2009). This is a normal form game with two-players: a worker and a firm. The potential worker decides whether to improve her skills or not. Though it seems initially counterintuitive to think that a skilled worker can become “unskilled,” a loss of skill could depend on the type of skills or knowledge under consideration and how the change is motivated. Hence, we refer to the decision of being on the “knowledge frontier.” We

¹ As a driving force of cultural evolution.

assume that a worker's tendency, to be skilled or not, follows an imitation rule, this means that every worker knows other workers' economic conditions, and having imitated a high-skilled individual, takes a training course with a 100 percent probability of being successful.² Then, the firm decides whether to invest in R&D or not. If a firm invests in R&D it becomes innovative, otherwise it is not. Such decisions may depend on the current state of the economy. Thus if the economy is composed mainly of workers and firms with low-profiles, then workers and firms decide not to invest in education and R&D departments.

Hence, consistent with the literature, we consider an economy composed of two populations: workers, W and firms, F . Let us assume that each population is divided into two types:

- Occasionally, the W -population divides into the S -type that invests in improving their individual skills, who will be the skilled workers, and the NS -type corresponds to unskilled workers.
- Occasionally, the F -population divides into the I -type that invests in R&D or are innovative firms, and the NI -type of non-innovative firms.

The contractual period between types of firms and workers is described by the following characteristics:

- **Asymmetric information.** At the beginning of the contractual period, workers do not know the type of the firm that hired them. On the contrary, workers must certify their skill levels, for example they must show a CV, and therefore firms know the worker's type. A worker enters a firm without understanding if the company invests in R&D or not, but if an innovative firm is successful, then the worker gets a premium.
- **Training costs and Investment costs.** The worker has to pay an associated cost to become a high-skilled worker. That is, the S -type worker must invest in education by going to a training school, at an associated cost, CE . To become an innovative firm implies that the firm carries out investment in R&D departments at an associated cost, CI .
- **Gross income.** Let $B_i(j)$ be the gross-benefit of the i -th firm hiring the j -th worker, $\forall i = \{I, NI\}$, $j = \{S, NS\}$. For all firms, a S -type worker gets a salary $\bar{S}$, and a NS -type worker gets a salary $0 < S < \bar{S}$.

² But, of course, entering a training course is not a guarantee to pass it and to find a skill-adequate job.

• **Skill premia.**³ The “skill premia hypothesis” assumes that innovative firms give premia to their workers at the end of the contractual period. Assume that the innovative firms, I , give premia to their workers, while NI -firms do not share these benefits.⁴ Thus, skilled workers, S , receive a premium $\bar{p}$ and unskilled workers, NS , receive a premium p , ($0 < p < \bar{p}$), when both types work for an innovative firm, I .

Moreover, there are strategic complementarities between types of firms and workers.⁵ Thus,

- If a firm is innovative, the payoff to a skilled worker is greater than the payoff to an unskilled worker, *i.e.*, $\bar{s} + \bar{p} - CE > s + p$.
- If a firm is non-innovative, then the payoff to an unskilled worker is at least as great as the payoff to a skilled worker, *i.e.*, $s \geq \bar{s} - CE$. This means that if there are no rewards, then there are no incentives to be a skilled worker.
- If a worker is skilled, then the payoffs obtained by an innovative firm are greater than those obtained by a non-innovative firm, *i.e.*, $B_I(S) - \bar{p} > B_{NI}(S)$.
- If a worker is unskilled, then the benefits for a non-innovative firm are greater than those for an innovative firm, *i.e.*, $B_I(NS) - p < B_{NI}(NS)$.

Table 1 presents a summary of the two population normal form game.

Table1		
Payoff Matrix of the Game		
W \ F	I	NI
S	$\bar{s} + \bar{p} - CE, B_I(S) - (\bar{s} + \bar{p} + CI)$	$\bar{s} - CE, B_{NI}(S) - \bar{s}$
NS	$s + p, B_I(NS) - (s + p + CI)$	$s, B_{NI}(NS) - s$

³Acemoglu (2003) provides a seminal contribution about skill premia.

⁴Recall that workers do not know the type of contracting firm. So, at the beginning of the productive process each worker does not know if she is going to receive a premium or not; this information is revealed only at the end of the period, once she learns the contracting firm's type.

⁵Two references on strategic complementarities among types of firms and workers are: 1) Acemoglu (1999); when there is a sufficient fraction of workers who are skilled, firms find profitable to create jobs specifically targeted at this group, and as a result, unskilled wages fall and skilled wages increase. 2) Acemoglu (1998); as the economy accumulates more skills, technical change responds to make new technologies more complementary to skilled labor.

The expected payoffs of the S -type and NS -type worker, given the probabilities of being hired by either the I -type or NI -type firms are $E(S)$ and $E(NS)$ defined as follows:

$$E(S) = \text{prob}(I)[\bar{s} + \bar{p} - CE] + \text{prob}(NI)(\bar{s}) - CE \quad (1)$$

$$E(NS) = \text{prob}(I)[s + p] + \text{prob}(NI)(s) \quad (2)$$

Where $\text{prob}(I)$ represents the worker's probability of being hired by an innovative firm and $\text{prob}(NI)$ the probability of being hired by a non-innovative firm. Hence, workers prefer to be a S -type if $E(S) > E(NS)$, and, conversely, they prefer to be a NS -type if $E(NS) > E(S)$. Then, $E(S) > E(NS)$ if and only if $\text{prob}(I)$ is sufficiently large *i.e.*

$$\text{prob}(I) > \frac{CE - (\bar{s} - s)}{(\bar{p} - p)} \quad (3)$$

Workers are indifferent between being skilled or unskilled if and only if⁶

$$\text{prob}(I) = \frac{CE - (\bar{s} - s)}{(\bar{p} - p)} \quad (4)$$

Let us denote a firm's probability to employ a skilled worker by $\text{prob}(S)$ and the probability to employ an unskilled worker by $\text{prob}(NS)$. Hence, a firm prefers to be innovative if and only if the expected payoff of being innovative is greater than the expected payoff of being non-innovative, *i.e.*, $E(I) > E(NI)$ or,

$$\text{prob}(S) > \frac{B_I(NS) - B_{NI}(NS) - p - CI}{B_I(NS) - B_I(S) + B_{NI}(S) - B_{NI}(NS) + (\bar{p} - p)} \quad (5)$$

Let us call $\text{prob}(I) = \bar{y}_I$ and $\text{prob}(S) = \bar{x}_S$. Therefore, the game has three Nash equilibria. Two in pure strategies: (I, S) and (NI, NS) and a mixed strategy Nash equilibrium given by

$$NE = (\bar{x}_S, (1 - \bar{x}_S); \bar{y}_I, (1 - \bar{y}_I)) \quad (6)$$

⁶Note that, $0 < \frac{CE - (\bar{s} - s)}{(\bar{p} - p)} < 1$ holds due to the above assumptions of strategic complementarities.

Hence, a threshold level where both firms and workers prefer to be high-profile (innovative and skilled) is above $(\bar{x}_s, \bar{y}_l)$.

2. The Evolutionary Game

A key concept in evolutionary game theory is the Evolutionarily Stable Strategy (ESS), for more details see Maynard Smith and Price (1973), Maynard Smith (1974, 1982) and Taylor (1979). An evolutionary stable strategy must have the property of noninvasibility, that is, if almost every member of the population adheres to the (ESS), no mutant⁷ can successfully invade. This concept is relevant only for monomorphic populations, but it can be extended to polymorphic populations. It corresponds to a stable state in which only pure strategies, or behaviors, can be played, but in which different players with different strategies can co-exist; such that, every change in the distribution of strategies implies a reduction in the expected value of fitness or welfare for the population as a whole.

Originally, this concept was developed in the framework of a symmetric normal form game. In order to apply the (ESS) concept to asymmetric games, we can think of agents being randomly assigned, with equal probabilities, to be either player i or player j . The agents are informed of the role to which they have been assigned and are allowed to condition their choice upon this assignment.

Let us briefly state the notion of ESS that we follow in this paper. Hence, we are interested in the evolution and in the stability of both populations, firms F and workers W playing the game. We analyze if small changes in the individuals' behavior from one population imply changes in the behavior of the individuals from the other population.

Let $p \in \Delta^F$ be the profile distribution of firms' behavior from population F in a given period t_0 , and that in the same period the profile distribution of workers' behavior in population W is $q \in \Delta^W$. Assume that in $t_1 > t_0$ a small mutation affects the workers' behavior from population W . Hence, the profile distribution from population W after the mutation, is given by the number of offspring:

⁷ A mutant is an individual who adopts a novel strategy.

$$q_\varepsilon = ((1-\varepsilon)q + \varepsilon\bar{q}) \quad (7)$$

for any $\bar{q} \in \Delta^W$: $\bar{q} \neq q$, the new distribution q_ε is called the fitness of the post-entry population. Analogously, the profile distribution from population F after a small mutation is:

$$p_\varepsilon = (1-\varepsilon)p + \varepsilon\bar{p} \quad (8)$$

for any $\bar{p} \in \Delta^F$: $\bar{p} \neq p$. Now, we can state the following definition:

Definition 1. Let $(p^*, q^*) \in \Delta^F \times \Delta^W$ be a profile of mixed strategies. We say that the profile (p^*, q^*) is an ESS for an asymmetric two-population normal form game, if for each $(\bar{p}, \bar{q}) \in \Delta^F \times \Delta^W$ there exists $\bar{\varepsilon}$ such that:

$$\begin{aligned} 1) & E^F(p^* / q_\varepsilon) > E^F(\bar{p} / q_\varepsilon) \quad \forall \bar{p} \in \Delta^F, \bar{p} \neq p^* \\ 2) & E^W(q^* / p_\varepsilon) > E^W(\bar{q} / p_\varepsilon) \quad \forall \bar{q} \in \Delta^W : \bar{q} \neq q^* \end{aligned} \quad (9)$$

for all $0 < \varepsilon \leq \bar{\varepsilon}$, then $p_\varepsilon = (1-\varepsilon)p^* + \varepsilon\bar{p}$ and $q_\varepsilon = (1-\varepsilon)q^* + \varepsilon\bar{q}$, hold for their respective post-entry populations.

Hence, from the above definition, it follows that if (p^*, q^*) is an ESS, then, the following assertions are verified:

1. The profile (p^*, q^*) is a NE.
2. If there exists some $p \in \Delta^F$, $p \neq p^*$ such that $E^F(p/q^*) = E^F(p^*/q^*)$, then $E^F(p^*/\bar{q}) > E^F(p/\bar{q})$.
3. If there exists some $q \in \Delta^W$, $q \neq q^*$ such that $E^W(q/p^*) = E^W(q^*/p^*)$, then $E^W(q^*/\bar{p}) > E^W(q/\bar{p})$.

So, players who adopt an ESS perform better than the mutants given the post-entry population.

In the following sections, we study the dynamic complementarities for both types of firms and workers. We consider the workers' population dynamic to characterize the dynamic equilibria and find the threshold value of skilled

workers and innovative firms required to overcome the low level equilibrium.

2.1 Replicator Dynamics by Imitation

The second approach introduced by evolutionary game theory is the replicator dynamics. The replicator dynamics explicitly models the process by which the frequency of a strategy changes in the population, this allows us to study the model's evolutionary dynamics. In the replicator dynamics, individuals imitate strategies of randomly sampled members of the population with a probability proportional to the difference in payoffs between players, given that the difference is positive. Assuming that individuals always imitate better performing agents, otherwise the dynamics change.

Consider that during each period $t \in (0, \infty)$ an agent from each population is randomly matched with an agent from the other population to play a bilateral finite game. Note that $prob(I) = PI = y_I$ is the worker's probability of being hired by an innovative firm, and $prob(S) = x_S$ is the firm's probability of hiring a skilled worker.

Let N_i^τ be the total of i -strategist, $i \in \{(I, NI); (S, NS)\}$, from the population, $\tau \in \{F, W\}$, with both populations normalized to 1, that is, $y_I + y_{NI} = 1$ and $x_S + x_{NS} = 1$.

Hence, the fractions of S -type strategists and I -type strategists are,

$$x_S = \frac{N_S^W}{N_S^W + N_{NS}^W}$$

$$y_I = \frac{N_I^F}{N_I^F + N_{NI}^F}$$

In the following system, the vectors $y_F = (y_I, y_{NI})$ and $x_W = (x_S, x_{NS})$ are distributions of agents playing a certain pure or mixed strategy in the space $\{(I, NI); (S, NS)\}$ from the two populations F and W . The expected payoffs are defined as:

$$\begin{aligned}
 E(S) &= y_I \bar{p} + \bar{s} - CE \\
 E(NS) &= y_I p + s \\
 E(I) &= x_S [B_I(S) - B_I(NS) - (\bar{s} + \bar{p}) + (s + p)] + B_I(NS) - (s + p - CI) \\
 E(NI) &= x_S [B_{NI}(S) - B_{NI}(NS) - \bar{s} + s] + B_{NI}(NS) - s
 \end{aligned} \tag{10}$$

2.2 The Specific Imitation Rule

Our imitation rule implies that players stick to a pure strategy for some time interval, and occasionally review their strategies, sometimes resulting in a change of strategy, early contributions start with Björnerstedt and Weibull (1995). Behavioral rules driven by imitation have a long tradition in the literature of evolutionary game theory,⁸ see Weibull (1995). One of the best known evolutionary models, the replicator dynamics, describes an evolutionary process driven purely by imitation of other players, which corresponds to cultural evolution. In our case the engine of the replicator dynamics is the self-improvement of the expected payoffs by imitation of the benefits of each economic agent. But we do not assume complete rational maximizers, instead agents imitate the most successful behavior of their neighbors. But, to imitate their neighbors they do not need to know the complete list of states of the world.

In any game with N players, there are N populations; one population for each type of player, from which we randomly draw agents who are programmed to play some pure strategies available to that type of player. Let these agents play the game. Over time, players may change their pure strategy. This is embodied by the so-called behavioral rules; such behavioral rules generate a system of differential equations that describes the evolution of the relative frequency of a pure strategy occurring in a population.

There is one differential equation for each pure strategy available to a population and every differential equation describes the evolution of a strategy's population share, that is the number x_i^τ for all $1 \leq \tau \leq N$ and $1 \leq i \leq n_\tau$.

⁸There are two basic elements common to these models. The first is a specification of the time rate at which agents in the population review their strategy choice. This rate may depend on the current performance of the agent's pure strategy and of other aspects of the current population state. The second element is a specification of the choice probabilities of a reviewing agent. The probability that an i -strategist will switch to some pure strategy j may depend on the current performance of these strategies and other aspects of the current population state.

Definition 2. A behavioral rule is a map from current aggregate behavior to conditional switch rates. The map is given by two basic elements:

1. The time rate $r_i^{\tau}(x)$ at which agents review their strategy choice. This time rate depends on the performance of the agent's pure strategy and other aspects of the current population state.⁹
2. The probability $p_{ij}^{\tau}(x)$ that a reviewing i -strategist will switch to some pure strategy j . The vector of this probabilities is written as: $p_i^{\tau}(x) = (p_{i1}^{\tau}(x), \dots, p_{ik}^{\tau}(x))$, and it is a distribution on the set of pure strategies.

The *outflow* from club i in population τ is $q_i^{\tau} r_i^{\tau}(x) p_{ij}^{\tau}(x)$ and the *inflow* is $q_j^{\tau} r_j^{\tau}(x) p_{ji}^{\tau}(x)$, where $q_i^{\tau} = q^{\tau} x_i^{\tau}$ is the number of i -strategists from population τ and q^{τ} represents the whole population τ , hence $q^{\tau} = q_i^{\tau} + q_j^{\tau}$. Therefore, given the population τ and assuming that the size of the population τ is constant, by the law of large numbers, we can model these processes as a deterministic flow. Rearranging terms, for each pair $i, j \in \{(I, NI); (S, NS)\}$, $j \neq i$, from population $\tau \in \{F, W\}$, we get the following mathematical expression summarized in Definition (2):

$$\dot{x}_i^{\tau} = r_j^{\tau}(x) p_{ji}^{\tau}(x) x_j^{\tau} - r_i^{\tau}(x) p_{ij}^{\tau}(x) x_i^{\tau} \quad (11)$$

Consider that an agent's decision depends upon the expected payoff associated with their own behavior, given the composition of the other population,¹⁰ $E^{\tau}(e_i, x^{-\tau})$ and depends on the characteristics of the populations represented by $x = (y^f, x^w)$. Therefore, we may assume that

$$r_i^{\tau}(x) = f_i^{\tau} \left(E^{\tau} \left(e_i, x^{-\tau} \right), x \right) \quad (12)$$

⁹This is the "behavioural rule with inertia," see Björnerstedt and Weibull (1996), Weibull (1995) and Schlag (1998; 1999) that allows an agent to reconsider her action with probability $r \in (0,1)$ each round.

¹⁰ Where τ represents the population to which the agent following the i -th behavior belongs, and $-\tau \in \{F, W\}$, $-\tau \neq \tau$

where e_i indicates vectors of pure strategies, $i, j \in \{(I, NI); (S, NS)\}$, independently from population τ , and $x^{-\tau}$ is the population state of the other population, $-\tau \neq \tau$. Functions such as $f_i^\tau(E^\tau(e_i, x^{-\tau}), x)$ can be interpreted as the propensity of a member from the i -th type to switch membership as a function of the expected utility gains from such a switch. Agents with less successful strategies on average review their strategy at a higher rate than agents with more successful strategies.

Assume f_i^τ is population-specific, but the same across all its components independent of club membership, and assume, furthermore, that it is linear in utility levels, see Weibull (1995). Thus, the propensity to switch behavior will be decreasing in the level of utility, *i.e.*,

$$f_i^\tau(E^\tau(e_i, x^{-\tau})) = \alpha^\tau - \beta^\tau E^\tau(e_i, x^{-\tau}) \in [0, 1] \quad (13)$$

where $\alpha^\tau, \beta^\tau \geq 0$ and $\frac{\alpha^\tau}{\beta^\tau} \geq E^\tau(e_i, x^{-\tau})$.

To simplify the notation, for each pair $i, j \in \{(I, NI); (S, NS)\}$, let us label:

- $r_i^\tau(x) = r_i$ and $r_j^\tau(x) = r_j$,
- $p_{ji}^\tau(x) = p_{ji}$ and $p_{ij}^\tau(x) = p_{ij}$,
- $E^\tau(e_i, x^{-\tau}) = E(i)$ and $E^\tau(e_j, x^{-\tau}) = E(j)$.

From Equations (12) and (13), and after some algebraic manipulation, system (11) becomes a replicator dynamic driven by imitation,¹¹ *i.e.*,

$$\dot{x}_i^\tau = x_i^\tau (1 - x_i^\tau) \left[\lambda (\alpha^\tau + \beta^\tau) (E(i) - E(j)) \right] \quad (14)$$

where $x_i^\tau \in [0, 1]$ and $\dot{x}_i^\tau + \dot{x}_j^\tau = 0$ for each pair $i, j \in \{(I, NI); (S, NS)\}$, $j \neq i$ from population¹² $\tau \in \{F, W\}$, and $\lambda = \frac{1}{|E(i) + E(j)|}$, $\alpha^\tau, \beta^\tau \geq 0$, $\frac{\alpha^\tau}{\beta^\tau} \geq E(\cdot)$

¹¹See appendix numbered list 1 for the specific cases of the dynamic flows of firms and workers.

Consider that an agent does not know the true values of the expected payoffs that other agents receive, but she can take a sample of such true values in order to estimate the average. Let $\tilde{E}(i)$ and $\tilde{E}(j)$ be the estimators for the true values $E(i)$ and $E(j)$, $\forall i, j \in \{(I, NI); (S, NS)\}$, $j \neq i$.

Hence, each i -strategist changes her current strategy if and only if $P[\tilde{E}(i) < \tilde{E}(j)]$. A reviewing worker who changes her current strategy must take into consideration both: i) a probability of imitating at least one strategy that performs better than her current strategy, $P[\tilde{E}(i) < \tilde{E}(j)]$, and ii) the probability of meeting an agent, x_j^τ , who uses such strategy. Consider that $P[\tilde{E}(j) - \tilde{E}(i) > 0]$ increases proportionally to the true value $E(j)$, we therefore obtain the following definition.

Definition 3. A reviewing i -strategist changes to j with a probability, p_{ij} , equals a positive average rule times the probability of encountering a j -strategist in the whole population, *i.e.* $\forall i, j \in \{(I, NI); (S, NS)\}$, $j \neq i$,

$$p_{ij} = P[\tilde{E}(j) - \tilde{E}(i) > 0]x_j = \begin{cases} \lambda E(j)x_j^\tau & \text{if } E(j) > 0 \\ 0 & \text{if } E(j) \leq 0 \end{cases} \quad (15)$$

$$\text{where } \lambda = \frac{1}{|E(i) + E(j)|}$$

Now, we introduce the behavioral rule from definition (3) and expression (15), the substitution of expected payoffs $E(\cdot)$ from system 10, and, after some algebraic manipulation from system (14), we get the worker's replicator dynamic (RD) and the firm's replicator dynamic (RD) driven by imitation:

$$\begin{aligned} \dot{x}_S &= -\dot{x}_{NS} = x_S(1 - x_S)A(\cdot) \\ \dot{y}_I &= -\dot{y}_{NI} = y_I(1 - y_I)B(\cdot) \end{aligned} \quad (16)$$

Where the functions $A(x_S, y_I)$ and $B(x_S, y_I)$ depend on shares of firms and workers and their payoffs, for the explicit expressions see the Appendix.

¹²Then, the trajectory $x^\tau(t) = \{(x_i^\tau(t), x_j^\tau(t)), t_0 \leq t\}$ is bounded in the unit square $C = [0, 1] \times [0, 1]$.

2.3 Stability and Equilibria Analysis

The RD system, $(\hat{y}_I, \hat{x}_S)$, admits five stationary states or dynamic equilibria, i.e., $(0,0)$, $(0,1)$, $(1,0)$, $(1,1)$ and $(\hat{y}_I, \hat{x}_S)$, where:

$$\begin{aligned}\hat{y}_I &= \frac{CE - (\bar{s} - s)}{\bar{p} - p} \\ \hat{x}_S &= \frac{B_I(NS) - B_{NI}(NS) - p - CI}{B_I(NS) - B_I(S) + B_{NI}(S) - B_{NI}(NS) + (\bar{p} - p)}\end{aligned}\quad (17)$$

In fact, the interesting case occurs when $(\hat{y}_I, \hat{x}_S)$ is an equilibrium lying in the interior of the square $C = [0,1] \times [0,1]$, which occurs when $0 < \hat{y}_I < 1$ and $0 < \hat{x}_S < 1$.

The next proposition summarizes the evolutionary dynamics for the replicator dynamics of firms and workers:

Proposition 1. *The evolutionary dynamics of firms and workers driven by imitation is as follows:*

1. Equilibria $(1,0)$ and $(0,1)$ are nodal sources and unstable.
2. Equilibria $(0,0)$ and $(1,1)$ are asymptotically stable points or nodal sinks, and therefore ESS.
3. Equilibrium $G = (\hat{y}_I, \hat{x}_S)$ is a saddle point, and therefore a threshold since it separates the basins of attraction of the low-level and high-level equilibria.

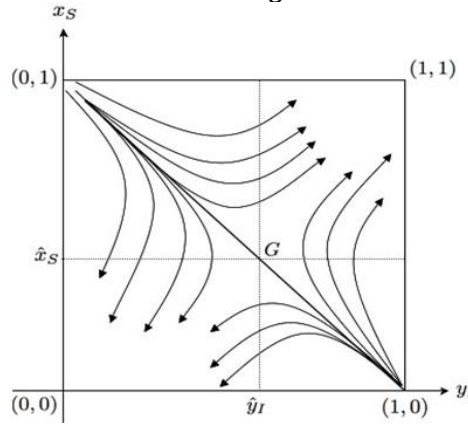
Proof. *We can assess whether the five equilibria are asymptotically stable points by analyzing the Jacobean Matrix $J(\hat{x}_S, \hat{y}_I)$, such that, equilibria fitting $\det(J) > 0$ and $\text{tr}(J) < 0$ are asymptotically stable (see Appendix), and then by the Definition (1) they are ESS of the game. There are two asymptotically stable strategy profiles. In particular, it is enough to look at the phase diagram, Figure 1, where a graphic representation is given.*

The point $G = (\hat{y}_I, \hat{x}_S)$ is hypothetically centered but it is not necessarily always centered since it depends on the model's parameters. ▀

These equilibria can be interpreted as follows:

- Equilibrium $(0,0)$ is the low-level equilibrium in which firms and workers are low-profile (NI, NS) .
- Equilibrium $(0,1)$ and $(1,0)$ is a mismatch of profiles (NI, S) , (I, NS) .
- Equilibrium $(1,1)$ is the high-level equilibrium in which firms and workers are high-profile (I, S) .

Figure 1
Phase Diagram



Concluding, we can say, first, that players behave rationally, though they follow an imitation rule and this may lead the economy to a poverty trap; second that there is a threshold value of high-profile agents above which firms and workers will rationally adopt high profiles and high growth will be maintained.

3. How to Overcome a Poverty Trap

Since the results of the model depend on initial conditions, that is, the profile distributions, y_F and x_W , the model is historically dependent where an optimal strategy of the dynamic replicator system converges towards two distinct attractors, $(0,0)$ and $(1,1)$.

Let us denote by $y^F = (y_I^F, y_{NI}^F)$ and $x^W = (x_S^W, x_{NS}^W)$ the initial distributions of firms and workers. Consequently, the following case may arise:

1. This consideration can be analyzed as a “game against the field” in which there is no specific “opponent” to a given agent and payoffs depend on what everyone in the population is doing and the agent is facing the other population state. That is, from the side of workers, an individual worker is playing against the field represented by the profile distribution of firms and workers, this is, the population state.

Hence, let us consider the population of workers. If the fraction of innovative firms, y_I^F , is smaller than the threshold value $\hat{y}_I^F$, i.e.,

$$y_I^F < \hat{y}_I^F = \frac{CE - (\bar{s} - s)}{\bar{p} - p} \quad (18)$$

then all potential workers prefer not to become high-skilled, and thus the initial distribution of workers $x^W(t_0) = (x_S^W(t_0), x_{NS}^W(t_0)) \rightarrow (0, 1)$ in pure strategies. Suppose now, that a small part of the non-innovative firms become innovative, $y'^F = (y_I'^F, y_{NI}^F)$ where $y(t_0) < y_I'^F < y_I^F$, then workers prefer to be unskilled and the population of the high-skilled workers continues to decrease. In this case a worker will be unskilled. So, we need a big change in the distribution of the population of firms to obtain workers to become skilled. The threshold value is $\hat{y}_I^F$, if the new distribution verifies that $y_I^F > \hat{y}_I^F$, and therefore the rational imitator worker chooses to be skilled.

Now, we define an ESS against the field as follows:

Definition 4. Consider a two population normal form game where each population F and W has two possible behaviors. Suppose that the distribution of the population F is given by $y_F = (y_{1F}, y_{2F})$. We say that the strategy $x_W^* = (x_{1W}^*, x_{2W}^*)$ is an ESS against the field if there exists an ε such that if

$$E^W(x_W^*, y_F') \geq E^W(x_W, y_F') \quad (19)$$

for all $x_w \in S_w$ where $|y_F - y_F'| \leq \varepsilon$. Therefore, if the distribution of the initial population of firms is given by $y^F = (y_I^F, y_{NI}^F)$ where $y_I^F < \hat{y}_I^F$ then $x^w = (0,1)$ is an ESS against the field.

To overcome a poverty trap requires that we change the rationally determined outcome. To do so the economy has to move beyond the threshold point of low-skilled workers and non-innovative firms. Focusing on workers, a central planner could implement a policy that decreases the costs to become high-skilled, or, given the incentive to become an innovative firm, to increase rewards to skilled workers.

Therefore, to reverse the inequality (18), and to overcome the poverty trap, consider the following:

- Either Costs of Education CE must decrease or the differences in skill premia $\Delta P = \bar{p} - p$ must increase positively. Consequently, with a perturbation σ_ε , workers will become skilled and firms will become innovative and both perform better. The economy simultaneously overcomes its historical poverty trap. We thus consider the perturbation as a shock that compels agents to adopt new strategies, *i.e.*, alternative strategies will invade the equilibrium as a consequence of the exogenous shock and, because the economy is in the basin of attraction of the higher-level equilibrium, the economy will converge to the higher-level equilibrium.

Decreasing CE means investing in human capital, which implies an increasing ΔP . In particular, from Equation (17) the threshold $\hat{x}_S = 0$ if, given the gross benefits of firms, which are determined in the market, $B_i(j)$, $\forall i \in \{I, NI\}$ $j \in \{S, NS\}$, then, the premia of unskilled workers is equal to $p = B_{NI}(NS) - B_I(S) - CI$, which means that an innovative firm must offer a premium that encourages the unskilled workers to supply their labor or become employed in the R&D sector. In turn, due to imitation and to strategic complementarities, such an unskilled worker must become a skilled worker. This means that workers with better profiles should get the largest possible premium, $\bar{p}$. In this way, the number of innovative firms (R&D) and the number of skilled workers (human capital) are large enough to overcome the poverty trap, *i.e.* $(x_S^w, y_I^F) > (\hat{x}_S^w, \hat{y}_I^F)$.

Any situation in the game against the field can be modified by a central planner or policy-maker who is able to change the profile distributions y_F and x_w . Alternatively, each player who wonders whether their current behavior is the optimal response for the long run outcome of the economy

could hypothetically participate in collective action to change their profiles. Either way, the economy becomes more efficient. The market alone is incapable of overcoming this kind of poverty trap. Policy-makers could intervene, for instance, by providing some kind of financial incentive for R&D investment or by imposing a minimum period of schooling.

3.1. Replicator Dynamic with Fiscal Incentives

Focusing on firms, the central planner could implement a policy that would increase the number of innovative firms above the threshold. A policy option is to give fiscal incentives to those firms that implement skill premia, which can be provided by a well-implemented income tax.

Let us assume that the policy-maker imposes some income taxations at rate $\gamma \in [0,1]$ and $\delta \in [0,1]$ for firms and workers, respectively. Where means of non intervention are denoted as $\gamma=0$, $\delta=0$, while means of complete intervention are defined as $\gamma=1$, $\delta=1$.

Suppose that at the time when this policy starts, the economy has the following characteristics:

- Let N_i^τ be the total of i -strategists, $i \in \{(I, NI); (S, NS)\}$, from the population $\tau \in \{F, W\}$, and let $H = \sum_{i,\tau} N_i^\tau$ be the total number of players, the whole economy is normalized to 1.

The mass or number of firms and workers that adopt a strategy i , $\forall i \in \{(I, NI); (S, NS)\}$, is given by:

$$m_i = \frac{N_i^\tau}{H} \quad (20)$$

or:

$$m_I = \frac{N_I^F}{H}, m_{NI} = \frac{N_{NI}^F}{H}, m_S = \frac{N_S^W}{H}, m_{NS} = \frac{N_{NS}^W}{H} \quad (21)$$

Then, we denote by, $\Delta = \{m \in R_+^k : \sum_{i=1}^k m_i = 1\}$ the simplex of R_k . In our case $k=4$.

If such taxes are imposed on each population $\tau \in \{F, W\}$, then the total revenue collected in the economy is:

$$T = \gamma[m_I E(I) + m_{NI} E(NI)] + \delta[m_S E(S) + m_{NS} E(NS)] \quad (22)$$

The implemented policy is characterized by taxation and subsidies. The subsidies are awarded to skilled workers and innovative firms. A proportion $\theta \in (0,1)$ of the total taxation collected is shared to skilled workers and the rest to innovative firms.

The new expected payoff, after transference, for strategist S and NS are respectively:

$$\begin{aligned} E_T(S) &= E(S)(1-\delta) + \theta T \\ E_T(NS) &= E(NS)(1-\delta) \end{aligned} \quad (23)$$

And for strategist I and NI are now respectively

$$\begin{aligned} E_T(I) &= E(I)(1-\gamma) + (1-\theta)T \\ E_T(NI) &= E(NI)(1-\gamma) \end{aligned} \quad (24)$$

So the dynamical system (14), $\forall i, j \in \{(I, NI); (S, NS)\}$, is now substituted by the new dynamical system given by:

$$\dot{x}_i^\tau = x_i^\tau (1 - x_i^\tau) [\lambda(\alpha^\tau + \beta^\tau)(E_T(i) - E_T(j))] \quad (25)$$

Consider that the the initial conditions are: $z(t_0) = (x_S(t_0), y_I(t_0))$, then the solution of this system will be unique and symbolized by $\xi(t, t_0, z(t_0))$. The threshold value corresponding to this system, is given by the equations:

$$\begin{aligned} E_T(S) &= E(NS) - \frac{\theta T}{1-\delta} \\ E_T(I) &= E(NI) - \frac{(1-\theta)T}{(1-\gamma)} \end{aligned} \quad (26)$$

From these equations we obtain the threshold value in terms of the share of skilled workers and innovative firms, and these values are given by:

$$\begin{aligned} n_s &= \hat{x}_s - \left(\frac{(1-\theta)T}{1-\delta} \right) \frac{1}{B_I(NS) - B_I(S) + B_{NI}(S) - B_{NI}(NS) - p + \bar{p}} \\ n_I &= \hat{y}_I - \left(\frac{\theta T}{1-\gamma} \right) \frac{1}{\bar{p} - p} \end{aligned} \quad (27)$$

Where $\hat{y}_I$ and $\hat{x}_S$ are the former threshold value defined in (17).

So, if the initial value $z(t_0) = (x_s(t_0), y_I(t_0))$ in a time $t = t_0$ of the economy, is below the threshold value $G = (\hat{x}_S, \hat{y}_I)$ then the policy-maker needs to implement taxes such that:

$$\begin{aligned} x_s(t_0) &\geq \hat{x}_s - \left(\frac{(1-\theta)T}{1-\delta} \right) \frac{1}{B_I(NS) - B_I(S) + B_{NI}(S) - B_{NI}(NS) - p + \bar{p}} \\ y_I(t_0) &\geq \hat{y}_I - \left(\frac{\theta T}{1-\gamma} \right) \frac{1}{\bar{p} - p} \end{aligned} \quad (28)$$

and then, the initial conditions are outside of the basin of attraction of the low-level equilibrium, corresponding to the system of equations (25). So, the economy is increasing to a high-level equilibrium. At the moment where the solution of this dynamical system surpasses the threshold value G the policy-makers may leave the economy evolving by its own rules, i.e, the evolution of the economy will be again, determined by the system (14), but now, the initial conditions are in the basin of attraction of the high-level equilibrium. This means that the policy-makers should withdraw taxation and subsidies once the economy, follows a trajectory corresponding to a solution of (25), surpasses the level G . After this moment the rationality of the agents will drive the economy to a high-level equilibrium. Therefore, the intervention of the policy-makers in the economy, in a time $t=t_0$, could be justified for a given time period of $z(t_0)$ below the threshold value G .

Summarizing, the policy-makers could intervene in the economy to implement a tax and subsidy policy such that it encourages workers to become skilled and firms to become innovative. The purpose of this policy is withdraw the economy from a trajectory converging to an inefficient equilibrium (the poverty trap). This intervention of the policy-maker ends in the moment where the solution of the dynamical system given by (25) $\xi(t, t_0, z(t_0))$ surpasses the threshold value G from this moment the economy will follow a trajectory, corresponding to a solution of the dynamical system (14), of high growth, converging to a high level equilibrium, the participation of the social planner in the economy from now on will be superfluous.

Concluding remarks

We presented an evolutionary game characterized by complementarities between firms and workers. The model shows that rates of return on R&D depend on average human capital, and rates of return on human capital depend on aggregate R&D spending. The outcome is a self-confirming equilibrium in evolutionarily stable strategies determined by the steady states of the replicator dynamic system. The poverty trap or low-level equilibrium is such that in poor economies with a large fraction of low-human-capital workers or low-R&D firms, imitation rules can act against sustained growth. To achieve economic take-off, a central planner could subsidize the costs of education and/or R&D until the economy builds a critical mass of human capital and R&D which allows the economy to move beyond the threshold to achieve virtuous growth.

The model we presented is practical and/or real, for instance the Bombardier Aeronautica Firm in Queretaro, Mexico, is a real approximation of our model, where, in an article entitled Mexico's Jet Set from the Latin Trade Magazine,¹³ pointed out what we studied:

- Innovative firms: "The levels of technological development of manufacturing sector are the strictest worldwide."
- Imitation: "If we can make this industry grow in our country, other industries will follow, and wages will inevitably go up."
- Skill premia: "You need very disciplined, structured, high-paid employees with a lot of experience," said consultant John F. Walsh, president of the Annapolis-based Walsh Aviation. "There are not many places in the world that do that. It would be a very big deal."
- Decreasing the cost of education: "the state government founded Mexico's first aeronautical university next door to the airport."

Hence, from our model, to overcome a poverty trap is necessary to surpass a threshold number of innovative firms and skilled workers. Unskilled workers are given an incentive to become skilled when the premia to skilled work increases. Hence, firms, in turn, can obtain more benefits being *I* – strategists. If the economy does not surpass this threshold value, a policy-maker could implement an incentive-based policy to reach the high-level equilibrium of innovative firms and skilled workers. For instance, they could

¹³ See <http://latintrade.com/2009/12/mexico%E2%80%99s-jet-set>

implement a policy to lower the cost of attaining skills. The market alone is incapable of overcoming this poverty trap, and policy makers should intervene. For instance, policy-makers could provide a tax scheme that encourages R&D investment, or they could impose a minimum level of high-quality education for the whole population. However, the policy-makers' intervention in the economy can finalize from the moment where the economy surpasses the threshold value.

Conversely, a poverty trap can arise because agents imitate the best-responding strategies when the state of the economy lacks both R&D and human capital. For low numbers of skilled labor, innovation will not be profitable, not just in terms of final output but also in terms of the generated rate of technical change. Only after an economy is sufficiently developed in terms of its supply and demand for skilled labor, it will undertake R&D. So, in this case, one of the main obstacles to overcoming a poverty trap is the agents' rationality by imitation. Using evolutionary game theory to tackle the problem of poverty traps, we conclude that a kind of bounded rationality characterized by imitation offers a clue to understand the dynamics of poverty traps. Boundedly rational agents act to maximize their own payoffs, pursuing, as best as they can, their own self-interest. Hence, we have shown the strategic foundations of high and low level equilibria when firms and workers imitate, and thus they adopt the best strategy given the state of the economy. A future research could go in the direction to offer a feasible answer about: how much and for how long a government should subsidize R&D activities and human capital accumulation?

References

- Acemoglu, D. (1997). "Training and innovation in an imperfect labor market." *Review of Economic Studies* 64, 445-464.
- _____. (1998). "Why Do New Technologies Complement Skills? Directed Technical Change and Wage Inequality." *Quarterly Journal of Economics* 113(4), 1055-1089.
- _____. (1999), "Changes in Unemployment and Wage Inequality: An Alternative Theory and Some Evidence," *American Economic Review* 89(5), 1259-1278.
- _____. (2002). "Technical Change, Inequality and the Labor Market." *Journal of Economic Literature* 40, 7-72.
- _____. (2003). "Patterns of Skill Premia." *Review of Economic Studies* 70, 199-230.

- Accinelli, E. S. London, and E. Sanchez Carrera (2009). "A Model of Imitative Behavior in the Population of Firms and Workers." *Quaderni del Dipartimento di Economia Politica* 554, University of Siena.
- Aghion, P. (2006). "On Institutions and Growth." in *Institutions, Development, and Economics Growth*, ed. Theo S. Eicher and Garca-Peñalosa, Cambridge: The MIT Press.
- _____ and P. Howitt (1999). "On the Macroeconomic Consequences of Major Technological Change." in *General Purpose Technologies and Economic Growth*, Ed. E. Helpman, Cambridge: MIT Press.
- Apesteguia, J., S. Huck, and J. Oechssler (2007). "Imitation-theory and experimental evidence." *Journal of Economic Theory* 136, 217-235.
- Azariadis, C. and A. Drazen, (1990). "Threshold Externalities in Economic Development." *Quarterly Journal of Economics* 105 (2), 501-526.
- Benhabib J. and M. Spiegel (1994). "The role of human capital in economic development: Evidence from aggregate cross-country data." *Journal of Monetary Economics* 34, 143-173.
- Berman, E., J. Bound and Z. Griliches (1994). "Changes in the Demand for Skilled Labor Within U.S. Manufacturing Industries: Evidence from the Annual Survey of Manufacturing." *Quarterly Journal of Economics* 109, 367-397.
- Björnerstedt, J. and J. Weibull (1996). "Nash Equilibrium and Evolution by Imitation," in *The Rational Foundations of Economic Behavior*, ed. by K. Arrow *et al.*, Macmillan.
- Cohen, W. and D. Levinthal (1990). "Absorptive Capacity: A New Perspective on Learning and Innovation." *Administrative Science Quarterly* 35, 128-152.
- Funk, P. and T. Vogel (2004). "Endogenous Skill Bias." *Journal of Economic Dynamics and Control* 28, 2155-2193.
- Haskel, J. and Y. Heden (1999). "Computers and the Demand for Skilled Labour: Industry and Establishment-level Panel Evidence for the UK." *Economic Journal* 109, C68-79.
- Hendricks, L. (2000). "Equipment investment and growth in developing countries." *Journal of Development Economics* 61, 335-364.

- Hornstein, A., P. Krusell and G. Violante (2005). "The Effects of technical Change on Labor Market Inequalities." in Aghion, P. and Durlauf, S. (eds.) *Handbook of Economic Growth*, Elsevier.
- Greenwood, J. and M. Yorukoglu (1997). "1974," Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy 46, 49-95.
- Kiley M. (1999). "The Supply of Skilled Labour and Skill-biased Technological Progress." *Economic Journal* 109, 708-724.
- Lucas, R. (1988). "On the mechanics of economic development." *Journal of Monetary Economics* 22(1), 3-42.
- Machin, S. and J. Van Reenen (1998). "Technology and Changes in the Skill Structure: Evidence from Seven OECD Countries." *Quarterly Journal of Economics* 113, 1215-1244.
- Matsuy, A. (1996). "On Cultural Evolution: Social Norms, Rational Behavior, and Evolutionary Game Theory." *Journal of the Japanese and International Economies* 10, 262-294.
- Maynard Smith, J. (1974). "The theory of games and the evolution of animal conflict." *Journal of Theoretical Biology* 47, 209-222.
- _____ (1982), *Evolution and the Theory of Games*, Cambridge University Press.
- _____ and G. Price (1973). "The Logic of Animal Conflict." *Nature* 246, 15-18.
- Nelson, R. and E. Phelps (1966). "Investment in Humans, Technological Diffusion, and Economic Growth." *American Economic Review* 56(1/2), 69-75.
- Redding, S. (1996). "The Low-Skill, Low-Quality Trap: Strategic Complementarities between Human Capital and R&D." *Economic Journal* 106(435), 458-470.
- Schlag, K. (1998), "Why Imitate, and if so, How?" A Boundedly Rational Approach to Multi-Armed Bandits", *Journal of Economic Theory* 78(1), 130-156.
- _____ (1999). "Which one should I imitate?." *Journal of Mathematical Economics* 31, 493-522.
- Schultz, T. (1975). "The value of the ability to deal with disequilibria." *Journal of Economic Literature* 13, 827-846.

Taylor, P. (1979). "Evolutionarily Stable Strategies with Two Types of Player."
Journal of Applied Probability 16, 76-83.

Weibull, J. (1995). *Evolutionary Game Theory*. The MIT Press.

Appendix

1. In particular, if we consider the distribution of workers' profile, $x_W = (x_S, x_{NS})$, and firms, $y_F = (y_I, y_{NI})$, then we can model the flow of high-skilled workers and innovative firms over time: $\dot{x}_S$ and $\dot{y}_I$. Since we consider large populations, we invoke the law of large numbers and model these aggregate stochastic processes as deterministic flows, each flow is being set equal to the expected rate of the corresponding Poisson arrival process. Hence, rearranging terms, we obtain the system of differential equations that characterizes the dynamic flow of workers,

$$\begin{aligned}\dot{x}_S &= r_{NS} p_{NSS} x_{NS} - r_S p_{SNS} x_S \\ \dot{x}_{NS} &= -\dot{x}_S\end{aligned}\tag{29}$$

and the differential equations that characterize the dynamic flow of firms,

$$\begin{aligned}\dot{y}_I &= r_{NI} p_{NII} y_{NI} - r_I p_{INI} y_I \\ \dot{y}_{NI} &= -\dot{y}_I\end{aligned}\tag{30}$$

2. The systems of worker's replicator dynamic (RD) and firm's replicator dynamic (RD) driven by imitation:

$$\dot{x}_S = -\dot{x}_{NS} = x_S (1 - x_S) A(\cdot)\tag{31}$$

$$\dot{y}_I = -\dot{y}_{NI} = y_I (1 - y_I) B(\cdot)\tag{32}$$

where the functions $A(x_S, y_I)$ and $B(x_S, y_I)$ are defined by:

$$A(x_S, y_I) = \alpha^w \frac{y_I(\bar{p} - p) + s - \bar{s} + CE}{y_I(p + \bar{p}) + s + \bar{s} - CE},$$

$$B(x_S, y_I) = \alpha^f \left[\frac{B_I(NS) - B_{NI}(NS) + x_S(\Delta B_I + \Delta B_{NI} - \Delta P) - p - CI}{B_I(NS) + B_{NI}(NS) + x_S(\Delta B_I - \Delta B_{NI} - \Delta P - 2s - 2\bar{s}) - p + 2s} \right]$$

where: $\Delta B_I = B_I(S) - B_I(NS)$, $\Delta B_{NI} = B_{NI}(NS) - B_{NI}(S)$ and $\Delta P = \bar{p} - p$

3. Proof of Proposition 1. The idea is to use the eigenvalues of the Jacobian matrix evaluated at a critical point to understand the behavior of the system near that critical point. The Jacobean Matrix is given by,

$$J(\dot{y}_I, \dot{x}_S) = \begin{pmatrix} \frac{(1-2x_S)\alpha''(y_I\Delta P + \bar{s} - s - CE)}{y_I(\bar{p} + p) + \bar{s} + s - CE} & \frac{2(1-x_S)\alpha''x_S(\bar{s}\bar{p} - (\bar{s} + CE)p)}{(y_I(\bar{p} + p) + \bar{s} + s - CE)^2} \\ 2(1-y_I)\alpha^F y_I Q & (1-2y_I)\alpha^F Z \end{pmatrix}$$

where:

$$Q = \frac{(\Delta B_{NI} + \Delta P)(B_I(NS) + s - p - CI) + \Delta B_I(B_{NI}(NS) + s) - (\bar{s} + s)(p + B_{NI}(NS) - B_I(NS))}{x_S(\Delta B_{NI} - \Delta B_I + \Delta P + 2\bar{s}) - (1-x_S)2s + p - B_I(NS) - B_{NI}(NS)}$$

and

$$Z = \frac{CI + p - B_I(NS) + B_{NI}(NS) - x_S(\Delta B_I + \Delta B_{NI} + \Delta P)}{x_S(\Delta B_{NI} - \Delta B_I + \Delta P + 2\bar{s}) - (1-x_S)2s + p - B_I(NS) - B_{NI}(NS)}$$

It can be verified that evaluating such Jacobean to each of the five equilibrium points, the equilibria fitting $\det(J) > 0$ and $\text{tr}(J) < 0$ are: $(0,0)$ and $(1,1)$ and then, they are ESS. Moreover, equilibrium $G = (\hat{y}_I, \hat{x}_S)$ fits $\det(J) < 0$, then it is a saddle point which separates the basin of attractions from the low-level to the high-level equilibrium.

Convergencia entre las economías de México y EUA

José Romero Tellaeche*

Fecha de recepción: 15 XII 2009

Fecha de aceptación: 17 II 2010

Resumen

Este trabajo analiza el proceso de convergencia del ingreso por habitante de EUA y de México de 1954 a 2008. Se encuentra un punto de ruptura en la evolución de esta relación en el último trimestre de 1982; esto llevó a analizar la brecha entre los dos ingresos, durante dos períodos, y se observa que la brecha durante el período 1983-2008 es significativamente mayor que durante el período 1954-1982. Luego, se estudia el proceso de convergencia cotejando que estas variables estuvieran cointegradas y verificando la estabilidad de los parámetros. Cabe destacar que durante el período de 1954-2008 se dieron claramente dos períodos de cointegración, el de 1954-1982 y el de 1992-2008. Durante el primer período (1954-1982) se dio un proceso de convergencia absoluta, un proceso de alcance “catching up”. Durante el segundo período (1992-2008) se encuentra cointegración y estabilidad en los parámetros, lo que indica una convergencia estable pero incompleta en niveles menores a los registrados durante el primer período. El trabajo también ofrece una interpretación de estos resultados, con el propósito de fomentar el debate sobre las causas y soluciones del estancamiento económico de México.

Palabras clave: México, EUA, convergencia, cointegración, cambio estructural, instituciones, TLCAN.

Clasificación JEL: 054, 011, E22, F43.

Abstract

This work analyzes the process of convergence of the per capita incomes of Mexico and the USA from 1954 to 2008. It was found a point of rupture

*Profesor Investigador. Centro de Estudios Económicos. El Colegio de México.

Dirección: Camino al Ajusco 20, Pedregal de Santa Teresa, México, D.F. 10740. México.

Correo electrónico: jromero@colmex.mx

El autor agradece a Edwin Van Gameren y a dos dictaminadores anónimos por los comentarios y recomendaciones que ayudaron a mejorar este trabajo.

occurring in this process in the last quarter of 1982. It is analyzed the gap between the levels of their per capita incomes and find that it was significantly greater during the period 1983-2008 than in the period 1954-1982. It is then analyzed the process of convergence to see if the variables are co-integrated and to verify the stability of the parameters. It was found that two distinct periods of co-integration occurred from 1954 to 2008; the first period, from 1954 to 1982, and the second, from 1992 to 2008. During the period 1954-1982, a process of absolute convergence occurred, with the Mexican per capita income being in the process of “catching up” with the American. During the latter period, 1992 - 2008, we find co-integration and stability in the parameters, which indicates a stable, but incomplete, convergence taking place at lower levels compared with the convergence registered during the first period. The paper also provides an interpretation of these results with the intention to stimulate the debate about the causes and solutions to the Mexican economic stagnation.

Keywords: México, USA, convergence, co-integration, structural change, institutions, NAFTA.

JEL Classification: 054, 011, E22, F43.

Introducción

Existe una creciente insatisfacción con respecto a la trayectoria seguida por la economía mexicana a partir de la crisis de la deuda y luego de que el gobierno mexicano, a partir del 1 de diciembre de 1982, iniciara la instrumentación de reformas económicas. Después de estos acontecimientos, la economía perdió el dinamismo que registró durante la etapa de desarrollo económico liderado por el estado.¹ El ingreso por habitante disminuyó sensiblemente su tasa de crecimiento. La brecha entre el ingreso *per cápita* de Estados Unidos y el de México, que entre 1954 y 1982 había disminuido, comenzó a ampliarse y luego se ha mantenido en un rango alto.

En este artículo se analiza el fenómeno de convergencia entre la economía mexicana y la de EUA en forma detallada con la intención de explicar lo que pudo haber pasado antes y después de estos acontecimientos. La motivación

¹ El término “estrategia de crecimiento liderada por el Estado” es mucho más precisa para describir la estrategia de crecimiento seguida por México, durante el período 1940-1982, que la llamada “estrategia de sustitución de importaciones”, dicha estrategia fue mucho más allá de la mera sustitución de importaciones, lo que se buscaba era la industrialización del país a través de una política de crecimiento comprensiva que involucraba políticas sectoriales, monetarias y fiscales encaminadas a un mismo fin. José Antonio Ocampo, “La liberalización económica latinoamericana a la luz de la historia”, Conferencia magistral, Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLACSO), México, 2006.

es examinar el proceso de crecimiento económico de México en relación al de EUA, antes y después de la crisis de deuda y de las reformas estructurales. Metodológicamente, el trabajo no ofrece ninguna respuesta acerca de las causas del auge y del posterior estancamiento relativo de la economía mexicana. El fenómeno del crecimiento es un fenómeno complejo y a lo que aspira este ejercicio es a ofrecer hipótesis razonadas de lo que pudo haber pasado. El propósito del trabajo es estimular la discusión y con ello construir nuevas propuestas de política.

Este trabajo estudia el proceso de convergencia entre el PIB por habitante de México y de EUA, durante el período de 1954 a 2008. También investiga si se ha registrado un cambio estructural en el proceso de convergencia entre el ingreso por habitante de México con EUA durante este período; se encuentra que efectivamente se dio un cambio estructural en 1982 y con este resultado se analiza el proceso de convergencia en dos subperíodos; uno que corresponde a la estrategia de industrialización que se dio entre 1950-1982 y otro que corresponde de 1983-2008, período conocido como de “liberación económica”. Se encuentra una reducción en la brecha en el ingreso por habitante entre EUA y México durante el primer período, e inestabilidad en los parámetros, lo que indica que la economía mexicana estaba en un proceso de “catching up” con los EUA; en contraste, durante el segundo, se da una convergencia incompleta con estabilidad de los parámetros, pero en un nivel inferior al registrado durante el período anterior.

Enseguida, se analiza por separado la evolución del ingreso por habitante de EUA y México, para verificar que el retraso relativo de la economía mexicana no se origina en un crecimiento acelerado de la economía de EUA sino en un estancamiento y, posteriormente en un menor crecimiento de la economía mexicana. También se introduce en el análisis el papel de las “instituciones”, con el propósito de preparar la discusión sobre algunas hipótesis acerca de lo encontrado y de las posibles causas. El esquema del trabajo es el que a continuación se presenta.

En la sección 1, se revisan los conceptos básicos de la teoría del crecimiento; en la sección 2, se revisan los principales trabajos que tratan el tema de convergencia; en la sección 3, se presenta un análisis preliminar del proceso de convergencia mexicana y de las características de los datos; en la sección 4, se analiza la evolución de la brecha entre los ingresos por habitantes de los dos países y se encuentra aquí la existencia de cambio estructural; en la sección 5, se revisan varias definiciones de convergencia; en la sección 6, se analizan dos períodos: el de 1954-1982 y el de 1992-2008 y se prueba así, la convergencia en cada uno de ellos; en la sección 7, se examina por separado la evolución del ingreso por habitante de EUA y de México, para ubicar en México la fuente del cambio estructural y de la ampliación de la brecha a

partir de 1983; en la sección 8, se discute el tema de convergencia e instituciones y en la última sección, se concluye y se presentan comentarios.

1. Conceptos básicos

El modelo neoclásico de crecimiento inicial de Solow (1956) hace predicciones muy fuertes en lo que respecta al comportamiento de la economía a través del tiempo. En particular, dada la especificación macroeconómica de las tecnologías y las preferencias, el producto por habitante en una economía va a converger al mismo nivel que otra sin importar los niveles iniciales de dotación de capital. Comparar diversas economías significa que las diferencias en ingreso por habitante, para economías con tecnologías y preferencias idénticas, serán un fenómeno transitorio. Si las brechas tienden a acortarse, se verificaría la hipótesis de convergencia, según la cual, en el largo plazo, el funcionamiento del mercado pone en marcha mecanismos que le permiten a las economías atrasadas crecer más rápidamente que las avanzadas.

En la segunda mitad de los ochenta, los trabajos de Romer (1986) y Lucas (1988) rescataron la importancia de los determinantes del crecimiento de largo plazo, marcando el inicio de una nueva etapa de la teoría del crecimiento. Estos autores cuestionaron la visión optimista del desarrollo y propusieron alternativas que crearon los llamados modelos de crecimiento endógeno (MCE), los cuales postulan una hipótesis de divergencia, en el sentido de que la dinámica de las fuerzas del mercado impulsarían una acumulación creciente de riqueza e ingreso, en las economías más desarrolladas, aumentando con ello la divergencia entre países y regiones.

En estos modelos, al contrario de lo que ocurre en el de Solow, el crecimiento puede continuar indefinidamente más allá de lo que imponen los elementos exógenos, porque los rendimientos de la inversión en capital (incluido el humano) no necesariamente disminuyen en la medida en que la economía se desarrolla. Esto se debe a la presencia de externalidades positivas, originadas en efectos de difusión del conocimiento tecnológico entre productores y otras economías de aglomeración.²

La idea de los rendimientos decrecientes en la acumulación de capital, inherente a los modelos neoclásicos, implicaba que países con escaso capital *per cápita* crecerían más rápido que aquéllos con abundante dotación *per cápita* de este recurso (la hipótesis de convergencia),³ mientras que los

² Esta noción había sido anticipada por Young (1928).

³ Siempre que el stock de capital *per cápita* sea la única diferencia entre las dos economías. Por eso se habla de convergencia condicional.

rendimientos no decrecientes (constantes o crecientes) de los modelos de crecimiento endógeno, implican el rechazo de la hipótesis de convergencia.

En los MCE no existe ninguna “fuerza” que reduzca las diferencias en los determinantes de largo plazo del crecimiento; antes bien, las economías tienden a divergir en el tiempo. De hecho, la sola presencia de rendimientos crecientes, originada en el cambio tecnológico, impide cualquier movimiento hacia la convergencia.

La existencia o no de tendencias hacia la convergencia/divergencia entre distintas economías tiene implicaciones importantes en varios planos para la economía mexicana. ¿Hay una tendencia hacia un crecimiento de México más rápido que el de los EUA y, por consiguiente, hacia la convergencia entre los ingresos por habitante entre estos dos países?; y, ¿la globalización y la liberación económica conducen a la convergencia?

De las respuestas a estas preguntas depende, entre otras cosas, la valoración que pueda hacerse de los procesos e instituciones como la Organización Mundial de Comercio y el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), así como de las instituciones financieras internacionales que impulsan la globalización, entendida como la intensificación de los flujos comerciales, financieros y tecnológicos a escala mundial, y la correspondiente adopción de las políticas y marcos institucionales conducentes a tal fin.

La discusión teórica sobre la convergencia/divergencia entre los modelos neoclásicos y los MCE tiene su equivalente en los estudios empíricos. Los estudios empíricos siguen básicamente dos vertientes.

La primera utiliza correlaciones de corte transversal para un grupo de países, entre ingresos *per cápita* iniciales y las tasas de crecimiento posteriores. En la terminología de los estudios de corte transversal, se conoce como convergencia β a la tendencia de los países pobres a crecer más rápido que los ricos. La simple relación para una amplia gama de países entre la tasa de crecimiento y su posición inicial, en general, no muestra que se cumpla dicha convergencia.⁴ Existe también lo que se conoce como convergencia condicional, es decir, la tasa de crecimiento del ingreso real *per cápita*, está negativamente correlacionada con el valor inicial del ingreso por habitante cuando se mantienen constantes otras variables, tales como: los valores iniciales de capital humano, medidas de políticas del gobierno, las propensiones a ahorrar y de tener hijos, entre otras. Existe una medida de

⁴ En casos de grupos de países o regiones homogéneos, este tipo de convergencia se cumple por lo menos durante ciertos períodos; dentro de estas regiones, los lugares más pobres tienden a crecer más rápido que los otros.

convergencia más dentro de esta vertiente, la convergencia σ . Esta convergencia se da cuando la dispersión del ingreso por habitante, entre un grupo de países o regiones, tiende con el tiempo a disminuir. En este contexto, la convergencia existe cuando la dispersión calculada por la desviación estándar, por ejemplo, descende con el tiempo. El tema de la convergencia regional, en el caso de México, ha sido tratado por varios autores que utilizan el método desarrollado por Barro y Sala-i-Martin (1990, 1991 y 1995). Dentro de ellos, destacan los trabajos de Messmacher (2000), Arroyo (2001) y Chiquiar (2005). Para algunos autores, la econometría convencional del análisis de convergencia desarrollada por Barro y Sala-i-Martin adolece de debilidades e inconsistencias⁵.

La segunda vertiente examina el comportamiento de largo plazo de las diferencias en el ingreso *per cápita* entre países. Estas pruebas interpretan la convergencia en el sentido de que estas diferencias son siempre transitorias, en la medida en que el pronóstico de largo plazo de la diferencia entre cualquier par de países converge a cero, en la medida en que se aleja el horizonte de pronóstico.

Para analizar la convergencia entre la economía de México y la de EUA utilizamos la segunda vertiente. El trabajo se concentra en estudiar empíricamente la convergencia entre las economías de México y EUA, en los últimos cincuenta y cinco años, con especial atención en lo sucedido antes y después del llamado periodo de “liberación económica”, que inicia el 1 de diciembre de 1982 y, del TLCAN, a partir de 1994.

2. Trabajos relacionados

Los trabajos⁶ basados en los modelos neoclásicos encuentran que la mayor integración global, por lo general, eleva el ingreso de todos los países. Dollar (2001) sostiene que la globalización ha acelerado las tasas globales de crecimiento: de una tasa del 1 % anual, a mediados del siglo XIX, a una de 3.5% anual en promedio, en los últimos cuarenta años del siglo XX. Estas altas tasas de crecimiento, sostenidas durante décadas, han ampliado los mercados para todos los países de la comunidad internacional. Según este autor las economías atrasadas, que se integran con las más avanzadas, aceleran su tasa de crecimiento y, por tanto, su nivel de ingreso converge hacia el del líder. Dollar (2001) y Lindert y Williamson (1995) sostienen que los países en desarrollo que se han globalizado han experimentado una

⁵ Los cuestionamientos más agudos provienen de Quah (1995).

⁶ Para una excelente discusión sobre el tema de la convergencia y revisión de la literatura véase Moncayo (2004) y Capolupo (2008).

aceleración de su tasa de crecimiento, pasando de una tasa anual de 1.4% en los años sesentas, a una del 5% en la década de los noventa. Por tanto, para estos países, según estos autores, se ha dado un proceso de convergencia. Sachs y Warner (1995) sostienen que los países en desarrollo, que han adoptado las políticas "correctas" (derechos de propiedad intelectual, desregulación y apertura comercial), han logrado converger hacia los niveles de ingreso de las economías avanzadas. Para Hall y Jones (1999), estas políticas apropiadas constituyen la infraestructura social de un país. Para Frenkel y Romer (1999), la apertura comercial y, para Dollar y Kraay (2002), la Inversión Extranjera Directa (IED) en los países en desarrollo, están positivamente correlacionadas con el crecimiento de largo plazo. Según Williamson (1995), el comercio internacional, especialmente el Norte-Sur, en virtud del teorema de igualación de los precios de los factores, tiende a subir los salarios en los países pobres y a bajarlos en los ricos. En consecuencia, el comercio puede ser un sustituto de la movilidad del trabajo y el capital, para efectos de la generación de convergencia entre salarios o productividad laboral y, por ende, del ingreso. Según Sala-i-Martin (2002), la varianza ponderada por la población del (log) PIB *per cápita* de 125 países ha disminuido en las últimas dos décadas (σ -convergencia). La metodología de muchos de estos trabajos ha sido criticada por Rodríguez y Rodrik (2000).

En contraste, aquellos que se fundamentan en la heterodoxia del crecimiento endógeno, concluyen que: la globalización promueve la desigualdad, una economía mundial integrada se divide entre un centro rico y una periferia pobre y, más grave aún, la riqueza del centro se produce a expensas de la periferia. Bourgignon y Morrison (2002), Milanovic (2001) y Dowrick y De Long (2003) muestran evidencia econométrica sobre la divergencia en el nivel de ingreso entre países.

Bourgignon y Morrison (2002) realizaron un estudio que cubre el período que va de 1820 a 1992, y concluyen que las desigualdades del ingreso mundial se ensancharon durante ese período: el coeficiente GINI y el índice de Theil se incrementaron en un 30% y 60%, respectivamente, debido principalmente al aumento de las diferencias entre países. Estos autores admiten, sin embargo, que a partir de 1950 los niveles de desigualdad se estabilizaron. Milanovic (2001) hace notar el rezago de la "clase media mundial", constituida por América Latina, Europa Oriental y la antigua Unión Soviética entre 1988 y 1993. Por su parte, Dowrick y De Long (2003) encuentran que en el período 1980-1998, los países pobres se beneficiaron menos de la apertura comercial que los ricos. Mientras, Solimano (2001, 34) afirma: "La segunda ola de globalización post 1973, de creciente intermediación financiera y políticas económicas pro-mercado, ha sido acompañada por complejas disparidades regionales y un aumento en la

desigualdad mundial.”

Existe un trabajo que por la importancia que tiene para México amerita una discusión especial. Easterly, Fiess y Lederman (2003) realizaron un estudio con motivo de los diez años del TLCAN, sobre la convergencia entre las economías de México y de EUA durante el período 1960-2002. Estos autores reportan la existencia de convergencia incompleta, esto es, que el PIB mexicano converge a cierta fracción del nivel de ingreso de los EU y además, reportan un hecho notable, el cierre en la brecha entre estos dos países a partir del TLCAN. En este estudio, los autores sostienen que la brecha entre el ingreso por habitante de México y EUA se ha reducido como consecuencia del TLCAN. Para llegar a este resultado los autores estiman, para el período 1960-2002 con datos trimestrales, la siguiente ecuación:

$$GAP_t = \beta_0 + \beta_1 GAP_{t-1} + \beta_2 NAFTA_GAP_{t-1} + \beta_3 LIB_GAP_{t-1} + \beta_4 TEQUILA + e_t \quad (1)$$

Donde, GAP es el PIB por habitante de los EUA dividido entre el de México, ambos ingresos ajustados por paridad del poder adquisitivo (PPP), $NAFTA_GAP_{t-1}$ es una variable dicotómica del TLCAN (1995-2002), LIB_GAP_{t-1} es una variable dicotómica para la liberación unilateral de México (1987-1994), ambas variables interactúan con la variable rezagada de la brecha y $TEQUILA$ es una variable dicotómica para la crisis 1994-1995. Si el TLCAN dio lugar a un crecimiento relativo del PIB por habitante más rápido en México que en EUA, entonces el coeficiente β_2 de la variable $NAFTA_GAP_{t-1}$ sería negativo y significativo. De manera similar, si la liberación posterior a 1987 condujo a un incremento relativo del crecimiento de México respecto al de EUA, el coeficiente de liberación β_3 de la ecuación (1) debería de ser también negativo y significativo. En contraste, esperaríamos que la crisis de 1994 ampliara la brecha por lo que esperaríamos que el coeficiente β_4 fuera positivo y significativo. Los resultados encontrados por los autores fueron los siguientes:

$$GAP_t = 0.16 + 0.935 GAP_{t-1} - 0.025 NAFTA_GAP_{t-1} + 0.005 LIB_GAP_{t-1} + 1.083 TEQUILA \quad (2)$$

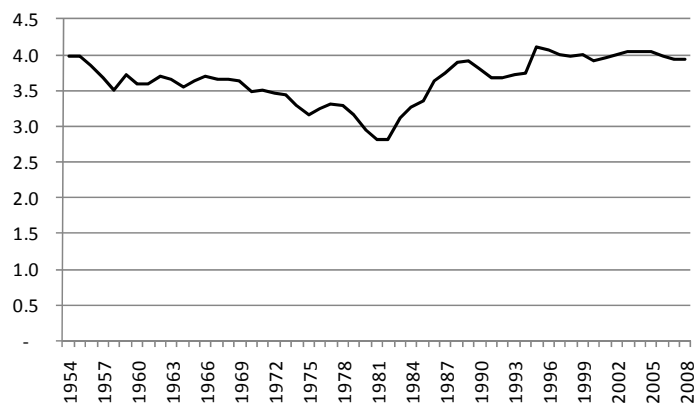
Donde, todos los coeficientes de la ecuación (2), excepto el de la liberación comercial unilateral, fueron significativos. Dado que el coeficiente de $NAFTA_GAP_{t-1}$, β_2 es negativo, los autores concluyen que la brecha entre los ingresos por habitante de EUA y México se reduce como consecuencia del

TLCAN.⁷ Los autores también sostienen que la no convergencia absoluta entre los ingresos por habitante entre los dos países se debe, en gran parte, a la diferencia en la calidad de las instituciones entre países. Este último aspecto se retoma y se discute más adelante en la sección 8.

3. Características de los datos

En la gráfica 1, aparece el ingreso por habitante de EUA respecto al ingreso por habitante en México durante el período 1954-2008 calculado con datos anuales. Se observa una tendencia en la disminución de la brecha entre 1954 y 1982; luego, a partir de 1983, se puede notar una tendencia al aumento y finalmente, a partir de 1992, la brecha se estabiliza en un valor cercano a 4.

Gráfica 1
PIB por habitante de EUA como proporción del PIB por habitante de México



Fuente: Groningen Growth and Development Centre and the Conference Board, Total Economy Database, Enero 2009, <http://www.ggdc.net>

El artículo se enfoca en estudiar la convergencia entre EUA y México, por dos razones. Primera, porque la economía mexicana está muy vinculada a la estadounidense. Segunda, porque EUA es uno de los países con mayor ingreso por habitante y sirve como referencia para estudiar la convergencia, para la mayor parte de los países.

⁷ Weisbrot, Rosnick y Baker (2004) encuentran inconsistencias entre la base de datos utilizada por Easterly *et al.* (2003), con la datos basados en las *Penn World Tables*. Estos autores señalan que repitieron el ejercicio de Easterly *et al.*, con datos de esta última fuente, y no encontraron ningún efecto positivo del TLCAN sobre la convergencia.

Los datos utilizados son las series anuales de PIB de México y los EUA, así como de la población para estos dos países para el período 1954-2008. Los datos aparecen en dólares “Geary-Khamis” de 1990. La fuente es *Groningen Growth and Development Centre and The Conference Board, Total Economy Database*, febrero de 2009. Para obtener cifras trimestrales del PIB de EUA y México, y guardar coherencia con las series anuales, se calcularon las cifras trimestrales a partir de los datos anuales, utilizando los índices trimestrales desestacionalizados del U.S. Bureau Economic Analysis,⁸ y de los Indicadores Económicos de Coyuntura disponibles del INEGI, respectivamente. Para los datos de población trimestral, simplemente se extrapolaron las cifras tomando la tasa de crecimiento de la población entre cada par de años. Los ingresos por habitante se obtuvieron dividiendo el PIB trimestral de cada país entre sus respectivas poblaciones.⁹

Los resultados de las pruebas de raíces unitarias usando la Prueba Philips-Perron, para las series trimestrales durante el período 1954-2008 del PIB por habitante de EUA (Y_{EUA}) y de México (Y_{MEX}), así como de la brecha entre el ingreso por habitante de EUA y México ($GAP \equiv Y_{EUA}/Y_{MEX}$), indican que las variables tienen el mismo nivel de integración, las tres son integradas de orden 1, $I(1)$. Enseguida se presentan los resultados de las pruebas.

Tabla 1
Prueba Philips-Perron (PP) en niveles

Variables	Intercepto	Con intercepto y tendencia	Sin tendencia ni intercepto
Y_{EUA}	0.509467	-2.682648	5.912751
Y_{MEX}	-0.651480	-1.929493	3.338628
GAP	-1.699569	-2.130489	-0.261473

Los valores críticos de la prueba PP con intercepto, con tendencia e intercepto y sin tendencia ni intercepto a los niveles de significancia 1%, 5% y 10% son, respectivamente: -3.460173, -2.874556, -2.573784; -4.000511, -3.430477, -3.138828; -2.575564, -1.942282, -1.615734.

⁸National Economic Accounts, U.S. Department of Commerce. <http://www.bea.gov>

⁹ Las series aparecen en el Apéndice.

Tabla 2
Prueba Philips-Perron (PP) en primeras diferencias

Variabes	Intercepto	Con intercepto y tendencia	Sin tendencia ni intercepto
Y _{EUA}	-11.99058	-11.96936	-10.99878
Y _{MEX}	-13.57618	-13.54890	-13.13519
GAP	-13.98032	-13.97596	-14.00940

Los valores críticos de la prueba PP con intercepto, con tendencia e intercepto y sin tendencia ni intercepto a los niveles de significancia 1%, 5% y 10% son, respectivamente: -3.460313, -2.874617, -2.573817; -4.000708, -3.430572, -3.138884; -2.575613, -1.942289, -1.615730.

4. Análisis de la brecha y cambio estructural

Se estima una versión similar a la usada por Easterly, Fiess y Lederman (2003) para el periodo 1954-2008; de donde se obtienen los siguientes resultados:

$$\begin{aligned}
 GAP_t = & 0.242 + 0.931GAP_{t-1} - 0.019APET_GAP_{t-1} + 0.012REF_GAP_{t-1} \\
 & (0.071) \quad (0.020) \quad (0.006) \quad (0.004) \\
 & + 0.008 TLCAN_GAP_{t-1} + 0.024Crisis_{1994} \\
 & (0.003) \quad (0.04)
 \end{aligned} \quad (3)$$

Los errores estándar aparecen entre paréntesis. Los coeficientes son todos estadísticamente significativos. La bondad de ajuste es del 97% y el total de observaciones es de 219. La prueba PP, en sus tres versiones y niveles de significancia, permite rechazar la existencia de raíz unitaria; es decir, los errores son estacionarios.

De la ecuación (3), $APET_GAP_{t-1}$ es una variable dicotómica para el auge petrolero (1978:1-1982:4), REF_GAP_{t-1} es una variable dicotómica para el periodo de reforma estructural (1983:1-1988:4) y $TLCAN_GAP_{t-1}$ es una variable dicotómica para el TLCAN (1994:1-2008:4). Estas tres variables interactúan con la brecha rezagada de los ingresos. Finalmente, $Crisis_{1994}$ es una variable dicotómica para la crisis de 1994 (1994:4-1995:1).

Como era de esperarse, se encuentra que se redujo la brecha durante el auge petrolero y durante la reforma estructural (por la turbulencia económica que la acompañó) y la crisis de 1994, aumentó. Sin embargo, lo destacable es que la brecha aumentó, durante el TLCAN.

80 Ensayos

Para analizar el comportamiento de la brecha entre las dos economías más allá de la ecuación anterior, se estima para el período 1954-2008, el siguiente modelo AR(1):

$$GAP_t = 0.0686 + 0.981GAP_{t-1} \quad (4)$$

(0.046) (0.0127)

Los errores estándar aparecen entre paréntesis. Los coeficientes son significativos al menos al 90% del nivel de confianza. La bondad de ajuste es del 96% y el total de observaciones es de 219.

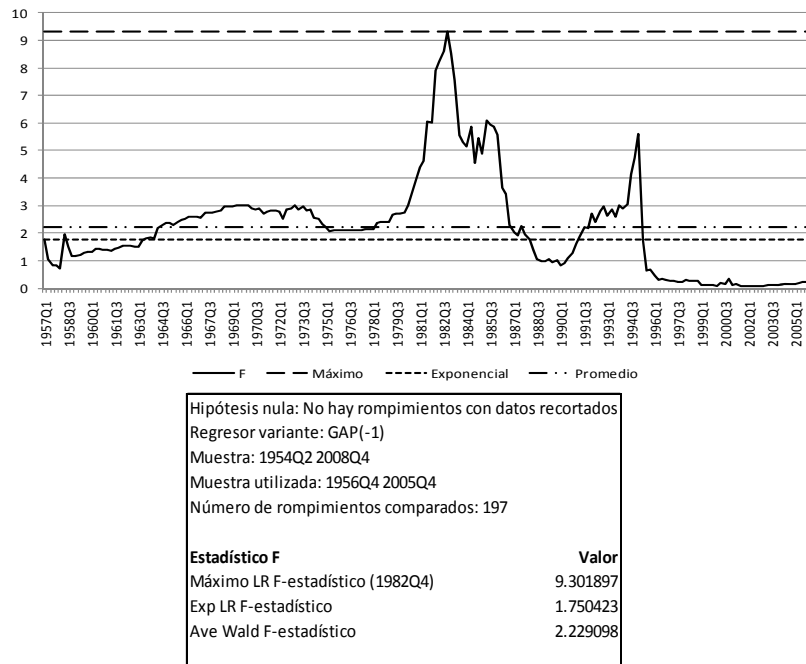
Una vez realizado lo anterior, se procede a detectar si hubo cambio estructural; para lo cual, se aplicó el método desarrollado por Kim, J. (2000). El método consiste en tres formas diferentes de manejar el problema de la fecha del quiebre, cuando ésta es desconocida. Primero, con la prueba del “máximo de la prueba Chow”, considerada en Davies (1977), Hawkins (1987), Kim y Siegmund (1989) y Andrews (1993). Segundo, con “el promedio de los resultados de las pruebas”, desarrollado por Hansen (1991). Tercero, con la “prueba del promedio exponencial”, desarrollada por Andrews y Ploberger (1994).

La hipótesis nula H_0 es que el residuo mantiene estacionariedad o persistencia constante a través del período muestral. La hipótesis alternativa H_1 es que e_t mantiene estacionariedad de persistencia constante hasta cierto momento, después del cual se convierte en un proceso de más alta persistencia, tal como raíz unitaria.

A continuación, se aplica el método desarrollado por Kim, J. (2000) para probar la hipótesis de persistencia en la brecha entre el ingreso por habitante de EUA y México. Al estimar la ecuación (4) para el período 1954-2008, se encuentra que la serie de los residuos de esta regresión (e_t) es estacionaria.¹⁰ Para que la hipótesis de persistencia no se viole, e_t debe de mantener el mismo proceso estacionario durante todo el período. El paso siguiente es verificar si esto ocurre, y si esto no es así, determinar la fecha de quiebre. Los resultados de las pruebas se muestran en la gráfica 2 y en el cuadro complementario. De estos resultados se desprende que existe un claro punto de quiebre en 1982:4 (año emblemático del fin de la estrategia de crecimiento dirigido por el Estado e inicio de la estrategia “de liberación económica”). Este punto de quiebre concuerda con el observado en la gráfica 1.

¹⁰ La prueba PP según se muestra, en sus tres versiones y niveles de significancia, permite rechazar la existencia de raíz unitaria, es decir, los errores son estacionarios.

Gráfica 2
Estadísticas del cambio estructural para la brecha 1954-2008



5. Definiciones de convergencia.

Existen varias versiones de convergencia¹¹ en series de tiempo, que capturan algunas implicaciones del modelo de crecimiento neoclásico para la permanencia de diferencias en ingresos *per cápita* de dos economías. Estas definiciones caracterizan convergencias entre un par de economías i y j , y en dichas definiciones representaremos toda la información disponible en el tiempo t con el símbolo $\mathfrak{I}_t$.

La primera definición considera el comportamiento de las diferencias en el ingreso *per cápita* entre dos economías, sobre cierto intervalo fijo de tiempo, e iguala convergencia con la tendencia a que las diferencias se hagan más pequeñas.

¹¹ Esta sección está basada en Bernard y Durlauf (1995, 1996).

Definición 1. Convergencia como “catching up”. Los países i y j convergen entre las fechas t y $t+T$, si la disparidad entre ingresos *per cápita* se espera que decrezca en valor en el tiempo t . Si $y_i > y_j$:

$$E(y_{i,t+T} - y_{j,t+T} | \mathfrak{F}_t) < y_{i,t} - y_{j,t} \quad (5)$$

Definición 2. La segunda definición se pregunta si el pronóstico de largo plazo de las diferencias en los ingresos *per cápita* tiende a cero, a medida que el horizonte de pronóstico se amplía. Esta definición se viola si la “historia importa”, esto es, si los efectos de los choques sobre las diferencias en los ingresos *per cápita* persisten indefinidamente en el futuro. Los países i y j convergen, si el pronóstico de largo plazo del ingreso *per cápita* para los dos países son iguales para un año dado $t+k$.

$$\lim_{k \rightarrow \infty} E(y_{i,t+k} - y_{j,t+k} | \mathfrak{F}_t) = 0 \quad (6)$$

Las definiciones anteriores de convergencia examinan si el pronóstico de largo plazo, de la diferencia entre ingresos *per cápita*, tiende a cero en la medida que el horizonte se expande al infinito. De tratarse de un proceso estacionario, con media cero, entonces estas definiciones de convergencia se satisfacen. Ambas definiciones, caracterizadas por las expresiones (5) y (6), tienen análogos naturales que pueden ser probados dentro de la literatura de raíces/cointegración. Para que dos países i y j converjan bajo la definición 2, sus ingresos *per cápita* deben de estar cointegrados con vector de cointegración $[1, -1]$. Si los países no convergen en el sentido de la definición (6) todavía pueden responder a las mismas fuerzas de largo plazo de un cierto proceso, es decir, puede que ambas enfrenten los mismos choques permanentes de largo plazo, con diferentes pesos.

Definición 3. Tendencias comunes en el ingreso. Los países i y j contienen una tendencia común, si el pronóstico de largo plazo de los ingresos es proporcional en un período fijo $t+k$.

$$\lim_{k \rightarrow \infty} E(y_{i,t+k} - \alpha y_{j,t+k} | \mathfrak{F}_t) = 0 \quad (7)$$

Esta definición de convergencia también tiene su contrapartida en la literatura de cointegración. Los países i y j tienen tendencias comunes si sus series de ingreso *per cápita* están cointegradas con un vector de cointegración $[1, -\alpha]$. Si esto sucede, se está frente a una convergencia incompleta. Esta es una definición realista, si se está interesado en la posibilidad de que haya un número reducido de tendencias estocásticas que afectan el ingreso de ambos países, pero cuyos efectos difieren en magnitud.

Por ejemplo, entre países desarrollados y subdesarrollados como EUA y México, en donde las diferencias del ingreso por habitante han persistido a lo largo del tiempo.

6. Diferentes etapas de convergencia

A partir de la relación entre el ingreso¹² por habitante de EUA y México:

$$Y_{EUA} = c + \alpha Y_{MEX} + \varepsilon_t \quad (8)$$

Se estima la ecuación (8) para el período 1954-2008, según el método desarrollado por Johansen (1988) y Johansen y Juselius (1990), con los siguientes resultados:

Tabla 3
Pruebas de Cointegración de Johansen

	Traza r=0	Traza r≤1	Lmax r=0	Lmax r≤1
EUA-MEX (log)	27.343	3.609	23.734	3.609
Valor crítico (0.05)	20.262	9.165	15.892	9.165

Muestra 1954Q4-2008Q4; observaciones incluidas después de ajustes: 217. Modelo ii: con intercepto y sin tendencia determinística.

Los coeficientes normalizados de cointegración son los siguientes (los errores estándar aparecen entre paréntesis):

$$Y_{EUA} = -3.305 + 4.251 Y_{MEX} \quad (9)$$

(1.524) (1.082)

Lo cual confirma la cointegración entre los ingresos por habitantes de los dos países durante el período 1954-2008. Como se desprende de las gráficas 1 y 2, es evidente que se dio un cambio estructural en el cuarto trimestre de 1982. Para corroborarlo se analiza el proceso de cointegración en forma recursiva en períodos de once años cada uno.¹³ Los resultados aparecen en la gráfica 3; en ella, se observa que hay dos períodos de cointegración, uno que

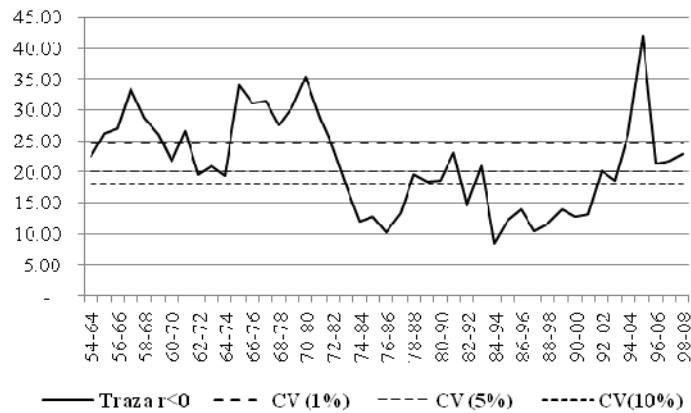
¹² No existe regla sobre si las relaciones deben ser tratadas en logaritmos o en niveles; en un caso, se relacionan las tasas y en el otro, los montos. El uso de niveles se justifica porque si dos series están cointegradas en niveles, también lo están en logaritmos; pero, no viceversa.

¹³ Fueron elegidos períodos de once años para contar con 44 observaciones en cada uno.

84 Ensayos

va de 1954 a 1982 y otro, de 1992 a 2008. Esto muestra un indicio de que se pudo estar dando un fenómeno de convergencia en esos dos periodos.

Gráfica 3
Cálculo de cointegración recursiva
(Períodos de 11 años)



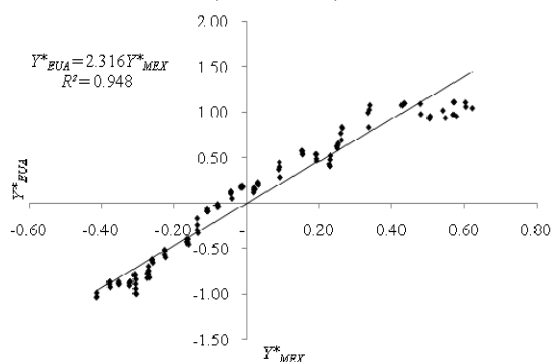
Para profundizar en el análisis de este hallazgo, se estimó una versión de la ecuación (8), sin constante, para los periodos 1954-1982 y 1992-2008. Para eliminar la constante de la ecuación (8) se midió a Y_{EUA} y Y_{MEX} en términos de su desviación con respecto a sus respectivas medias (μ_{Y_i}); esto es,

$$Y_{EUA}^* = Y_{EUA} - \mu_{Y_{EUA}} \quad (10)$$

$$Y_{MEX}^* = Y_{MEX} - \mu_{Y_{MEX}} \quad (11)$$

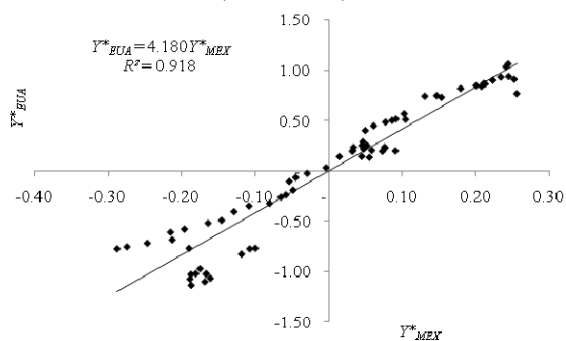
En los paneles A y B de la gráfica 4 aparecen los valores del coeficiente α , de la ecuación (7) para los periodos 1954-1982 y 1992-2008, estimados por MCO. Estos valores son, respectivamente: 2.316 y 4.180. Durante el periodo 1954-1982, el ingreso *per cápita* de los EUA fue en promedio 2.316 veces el de México y, durante el periodo 1992-2008 (que comprende el periodo del TLCAN), 4.180 veces. Esto es, la diferencia entre el ingreso por habitante de los dos países aumentó, durante el segundo periodo, 80% con respecto al primero.

Gráfica 4
Panel A
Relación de cointegración con datos normalizados
(1954-1982)



$n=116$, $R^2=0.95$. El error estándar es 0.05 y el estadístico t es significativo. La prueba PP sin intercepto ni tendencia al nivel de 10% permite rechazar la existencia de raíz unitaria.

Panel B
Relación de cointegración con datos normalizados
(1992-2008)



$n=68$, $R^2=0.92$, $\bar{R}^2 = 0.92$. El error estándar es 0.15 y el estadístico t es significativo. La prueba PP sin intercepto ni tendencia al nivel de 1% permite rechazar la existencia de raíz unitaria

Esto se confirma utilizando el método de Johansen-Juselius para los dos periodos. Para el primer período, se tiene:

Tabla 4
(1954-1982)

	Traza r=0	Traza r≤1	Lmax r=0	Lmax r≤1
EUA-MEX	14.806	1.064	13.741	1.064
Valor crítico (0.1)	13.429	2.706	12.297	2.706

Muestra 1954Q4-1982Q4; observaciones incluidas después de ajustes: 113.
Modelo iii: sin intercepto y sin tendencia determinística.

Los coeficientes normalizados de cointegración son los siguientes (los errores estándar aparecen entre paréntesis):

$$Y_{EUA} = 2.253 Y_{MEX} \quad (12)$$

(0.139)

Y para el segundo período, se tiene:

Tabla 5
(1992-2008)

	Traza r=0	Traza r≤1	Lmax r=0	Lmax r≤1
EUA-MEX	147.257	3.831	143.426	3.831
Valor crítico (0.05)	15.495	3.841	14.264	3.841

Muestra 1992Q4 2008Q4; observaciones incluidas después de ajustes: 68.
Modelo iii: sin intercepto y sin tendencia determinística.

Los coeficientes normalizados de cointegración son los siguientes (los errores estándar en paréntesis):

$$Y_{EUA} = 4.785 Y_{MEX} \quad (13)$$

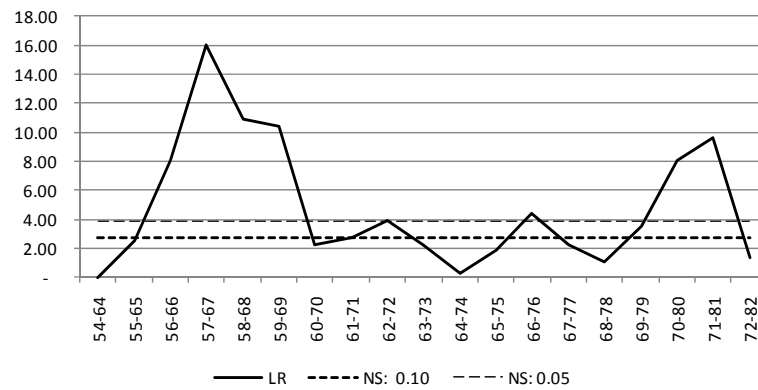
(0.127)

Para verificar la constancia en los parámetros de cointegración se utiliza el método del cociente de los logaritmos de máxima verosimilitud (LR) para dos períodos; el primero, de 1954-1982 y el segundo, de 1992-2008.

Primero, se divide el período 1954-1982 en 19 subperíodos de once años cada uno, esto es para los subperíodos 1954-1964, 1955-1965 ... 1972-1982. Para cada subperíodo, se calcula a partir de la ecuación (7) el coeficiente de cointegración: $\hat{\alpha}_T$, y se prueba la hipótesis nula H_0 : $\hat{\alpha}_T = 2.253$, contra la alternativa H_1 : $\hat{\alpha}_T \neq 2.316$, donde $\alpha^* = 2.253$ es el coeficiente de

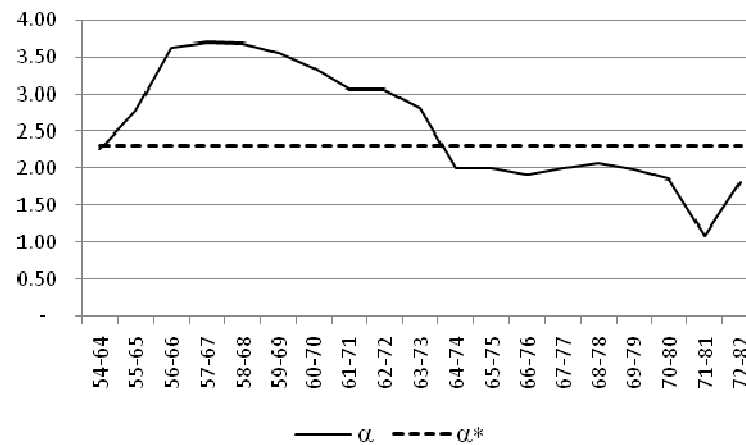
cointegración, calculado para todo el período 1954-1982 por el método de Johansen. Para el conjunto del período se rechaza la hipótesis nula en 10 de los 19 subperíodos analizados, esto es en el 53% de los casos. Es decir, se encuentra inestabilidad de los coeficientes, como lo muestra la gráfica 5.

Gráfica 5
Prueba LR (1954-1982)



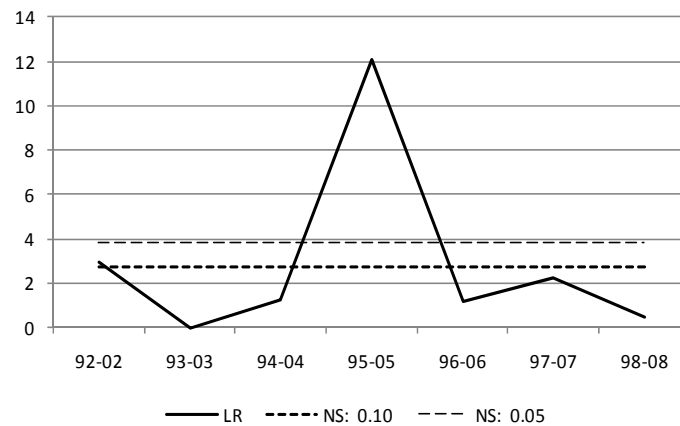
De estos casos, en la primera mitad, el valor de $\hat{\alpha}_T$ está por arriba del valor de $\alpha^* = 2.253$ estimado para el período 1954-1982 y la segunda mitad por debajo, lo que muestra una clara tendencia descendente. Lo anterior implica que durante este período la brecha entre el ingreso por habitante de EUA y México se va reduciendo, es decir, existió un proceso de “catching up” de acuerdo con la definición 1 de convergencia, expresada por la desigualdad en la ecuación (5), lo cual se observa en la gráfica 6.

Gráfica 6
Trayectoria del coeficiente de cointegración
 $\hat{\alpha}_T$ y ($\alpha^* = 2.253$)



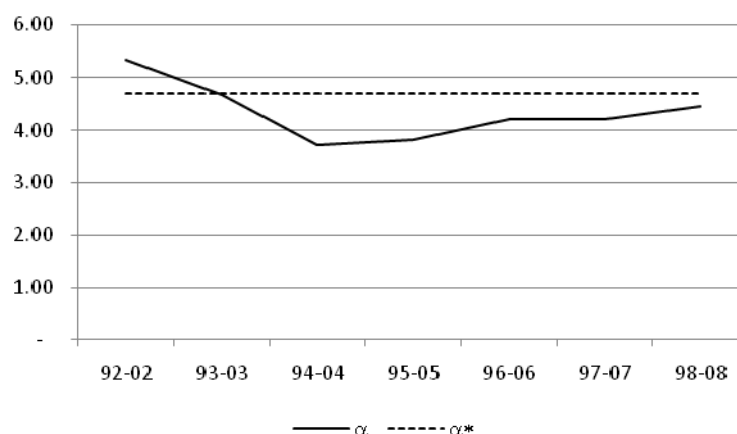
Se realiza lo mismo para el período 1992-2008 dividiéndolo en 7 subperíodos de once años cada uno; esto es, para los subperíodos 1992-2002 ... 1998-2008. Se calcula para cada subperíodo el coeficiente $\hat{\alpha}_T$, y se prueba la hipótesis nula $H_0: \hat{\alpha}_T = 4.785$ contra la alternativa $H_1: \hat{\alpha}_T \neq 4.785$, donde $\alpha^* = 4.785$ es el valor del coeficiente de cointegración, α^* de la ecuación (7) calculado para el período 1992-2008 por el método de Johansen. Para este período se rechaza la hipótesis en sólo dos de los siete subperíodos analizados. Lo que muestra cierta estabilidad en los parámetros (gráfica 7).

Gráfica 7
Prueba LR (1992-2008)



De estos dos casos, en el primero (1992-2002), el valor de $\hat{\alpha}_T$, es superior a $\alpha^* = 4.785$ y en el segundo y más significativo, está por debajo de ese valor. Los sucesivos valores de $\hat{\alpha}_T$ muestran una clara tendencia descendente, pero manteniéndose en la región de **no** rechazo de la hipótesis nula. Esto implica que durante este período la brecha entre el ingreso por habitante de EUA y México se mantiene, esto es, se da un proceso de convergencia parcial en el que el ingreso por habitante de EUA se mantiene a un nivel estable de 4.785 veces del de México. Lo cual indica que durante este período se da un proceso de convergencia incompleta, de acuerdo con la definición 3 de la ecuación (7), como puede verse en la gráfica 8.

Gráfica 8
Variaciones del coeficiente de cointegración
 $\hat{\alpha}_T$ y $(\alpha^* = 4.785)$



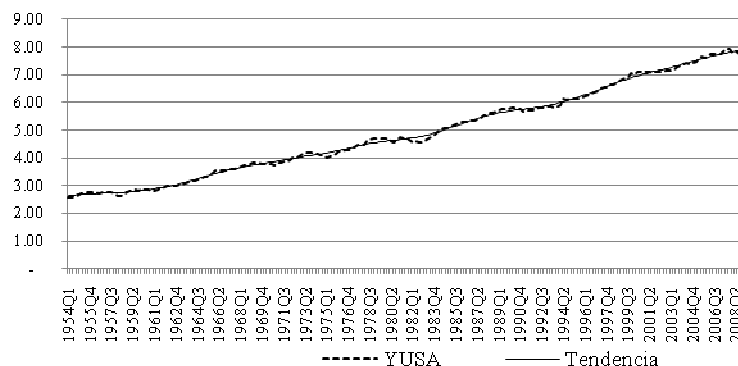
7. Evolución del ingreso por habitante de EUA y México

Hasta ahora se ha estudiado la convergencia entre el ingreso por habitante de EUA y México y se han encontrado algunos resultados, como la existencia de un cambio estructural y la ampliación de la brecha a partir de 1983. El siguiente paso será investigar si el cambio estructural en la relación de convergencia y la ampliación de la brecha se debió a cambios en el comportamiento del ingreso por habitante de EUA, o del de México.

El ingreso por habitante de EUA ha mostrado una continua tendencia al alza durante todo el período de análisis 1954-2008 (gráfica 9 y tabla 6). Durante el ciclo económico¹⁴ registra ciertas variaciones pero muy pequeñas, en términos porcentuales, como para explicar la ampliación de la brecha entre el ingreso por habitante de México y el de EUA, menos, un cambio estructural.

¹⁴ En los EUA, se han dado 10 ciclos económicos de 1953 al 2008. Las recesiones empiezan en el pico del ciclo económico y terminan en el valle siguiente. Los picos identificados por el National Bureau of Economic Research (NBER) para este período, son: julio de 1953Q2, agosto de 1957Q3, abril de 1960Q2, diciembre de 1969Q4, noviembre de 1973Q4, enero de 1980Q1, julio de 1981Q3, julio de 1990Q3, marzo de 2001Q y diciembre de 2007Q4. Y los valles: mayo de 1954Q2, abril de 1958Q2, febrero de 1961Q1, noviembre de 1970Q4, marzo de 1975Q1, julio de 1980Q3, noviembre de 1982Q4, marzo de 1991Q1 y noviembre de 2001Q4. Fuente: [Public Information Office](#), National Bureau of Economic Research, Inc. 1050 Massachusetts Avenue, Cambridge MA 02138. EUA

Gráfica 9
EUA: ingreso *per cápita* trimestral y tendencia*
 miles de dólares de 1990 (us\$ convertidos a geary khamis ppps)



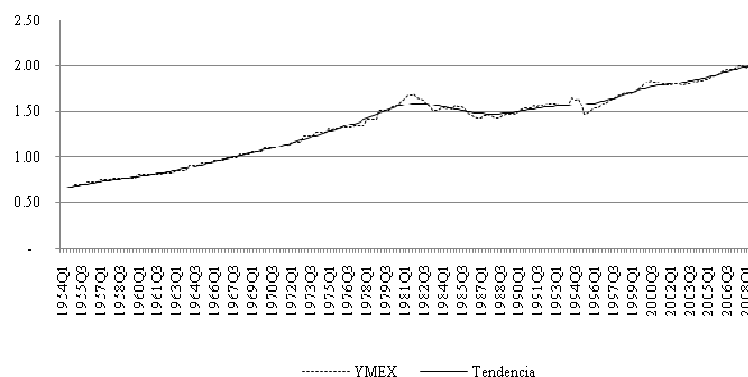
Fuente: Groningen Growth and Development Centre and The Conference Board, Total Economy Database, febrero de 2009.

* Tendencia calculada con el método Hodrick-Prescott ($\lambda=1,600$).

En contraste con lo que sucede en EUA, al observar la evolución del ingreso por habitante en México, destaca claramente un punto de quiebre en la tendencia en 1981Q3 que desciente a partir de ese trimestre y llega a un mínimo en 1988Q1. Después de este trimestre se da una continua recuperación, aunque a tasas menores a las registradas durante el período 1954-1983 (gráfica 10 y tabla 6).

Como se observa en la tabla 6, durante el período 1954-1982, la tasa de crecimiento trimestral promedio del ingreso por habitante en México fue casi el doble de la tasa de crecimiento del ingreso por habitante en EUA. Durante el período 1983-2008, la tasa de crecimiento trimestral de México fue menos de la mitad de la de EUA y para el período de 1992-2008, ya que habían tenido efecto las reformas estructurales, la tasa de crecimiento del ingreso por habitante en México comenzó a crecer pero a tasas inferiores a las registradas por los EUA, dado que durante este periodo, la tasa de crecimiento de los EUA se redujo, ligeramente, con respecto a otros periodos.

Gráfica 10
México: ingreso *per cápita* trimestral y tendencia*
 miles de dólares de 1990 (US\$ convertidos a Geary Khamis PPPS)



*Tendencia calculada con el método Hodrick-Prescott ($\lambda=1,600$).

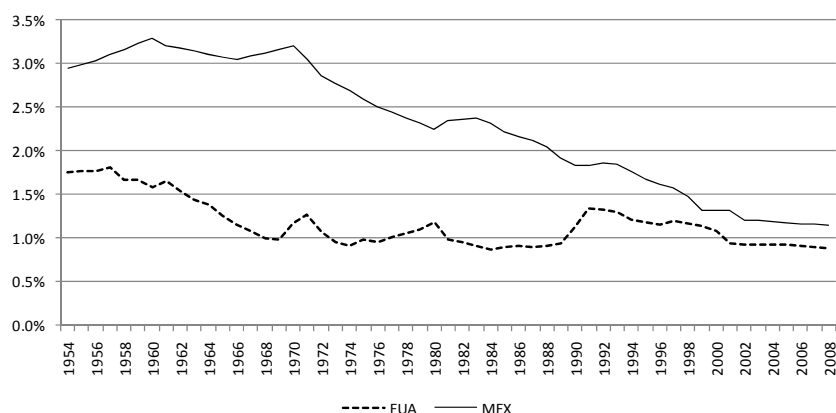
Fuente: Groningen Growth and Development Centre and The Conference Board, Total Economy Database, febrero de 2009.

Tabla 6
Ingreso por habitante de EUA y México
Tasas de crecimiento promedio trimestral

	Y _{USA}	Y _{MEX}
Promedio 1954Q2-1982Q1	0.478%	0.810%
Varianza	0.013%	0.035%
Promedio 1983Q1-2008Q4	0.499%	0.232%
Varianza	0.006%	0.021%
Promedio 1992Q1-2008Q4	0.425%	0.358%
Varianza	0.006%	0.020%

Un hecho notable es que la caída en el ingreso por habitante en México y luego su lenta recuperación, se ha dado en un contexto en el que la tasa de crecimiento de la población ha ido disminuyendo sensiblemente. Efectivamente, durante el período 1983- 2008, la tasa de crecimiento de la población se redujo a menos de la mitad, al pasar de 2.38 en 1983 a 1.15 en 2008, como se observa en la gráfica 11.

Gráfica 11
Población: tasas de crecimiento anual



Fuente: Groningen Growth and Development Centre and The Conference Board, Total Economy Database, febrero de 2009.

De estos resultados se desprende que el quiebre estructural en la convergencia entre las dos economías y la ampliación de la brecha entre los ingresos por habitante de EUA y México, se deben buscar en algo que ocurrió sólo en la economía mexicana (“un choque no correlacionado”), a partir de la crisis de la deuda y de las reformas estructurales que iniciaran el 1 de diciembre de 1982.

8. Convergencia e instituciones

Easterly, Fiess y Lederman (2003) siguiendo a otros autores¹⁵ explican la convergencia incompleta entre México y EUA por las instituciones mexicanas. Según ellos, las diferencias en instituciones explican las diferencias en los ingresos por habitante entre los dos países. Señalan que a pesar de la liberación y la armonización institucional, requerida por el TLCAN, en cuanto a los derechos de propiedad y de autor, la protección a las inversiones y los estándares ambientales, entre otras, todavía persisten amplias diferencias institucionales entre los EUA y México. Indican que si estas diferencias persisten, la convergencia absoluta, predicha por la teoría neoclásica, no se dará, aún y con la liberación del comercio.

¹⁵ Hall y Jones (1999) y Acemoglu, Jhonson y Robinson (2001).

Para completar el argumento, los mismos autores, introducen la experiencia de Puerto Rico que, según ellos, puede ofrecer una perspectiva útil de mediano plazo sobre cómo la convergencia institucional puede llevar a la convergencia económica. Apuntan que cuando Puerto Rico se convirtió en territorio de los EUA, en 1952, este territorio no sólo se benefició del libre comercio y del movimiento de factores, sino fundamentalmente de la adopción de muchas de las instituciones de los EUA. Consecuentemente, la brecha en el ingreso entre la parte continental de los EUA y Puerto Rico, se redujo en los siguientes 50 años, especialmente, comparada con las brechas de ingreso que persisten entre México y otros países latinoamericanos con respecto a EUA. En síntesis, la conclusión de estos autores es que la estrategia más segura para que México logre la convergencia, consiste en adoptar las instituciones económicas, jurídicas y políticas de los países anglosajones.

En otro trabajo, Easterly y Levine (2002) estiman regresiones del nivel de ingreso sobre varias medidas de dotación de factores, apertura comercial e instituciones y políticas públicas. Estos autores encuentran que las “instituciones” juegan un papel determinante en el crecimiento, mientras que ni las dotaciones de factores, ni la apertura comercial ni las políticas públicas tienen consecuencias. Esto quiere decir que, estas variables y en especial las políticas públicas no tienen efectos sobre el ingreso una vez que se controla por instituciones.

Rodrik *et al.* (2002), quienes realizan un ejercicio similar al de Easterly y Levine (E&L), encuentran también importantes ganancias económicas cuando se mejoran las instituciones; además, citan como ejemplos, los casos de Japón, durante la restauración Meiji; de Corea del Sur, durante los años sesentas y de China, desde 1970. Pero a diferencia de E&L, para Rodrik *et al.*, es imposible distinguir entre instituciones y políticas públicas.

Rodrik *et al.* (2002), recomiendan pensar en las políticas públicas como una variable de flujo y, en las instituciones como una variable de stock. Bajo esta óptica, es posible pensar en las instituciones como el resultado acumulativo de acciones de política pasadas. Para ilustrar el punto y siguiendo a Rodrik *et al.*, sean: p_i la política pública de la dimensión i (i =fiscal, comercial, laboral, financiera, agrícola, industrial, de inversiones, etc.), I la calidad de las instituciones, δ la tasa a la cual la calidad de las instituciones se deprecia en ausencia de acciones que las mantengan. La evolución de la calidad institucional a través del tiempo puede ser escrita, como:

$$\dot{I} = \sum_{i=1}^n \alpha_i p_i - \delta I \quad (14)$$

donde, α_i representa el impacto de la política pública i en la calidad institucional.

Esto sugiere que es inapropiado correr una regresión entre los niveles de ingreso con la calidad de las instituciones y políticas públicas, al mismo tiempo. La medida de calidad institucional ya contiene toda la información relevante acerca del impacto de las políticas públicas. Si la especificación apropiada del ingreso es $\ln y = \beta I + u$, para ver el efecto de las políticas públicas, éstas deben verse en una regresión, de la forma:

$$\frac{d \ln y}{dt} = \beta \dot{I} + v = \alpha_0 + \beta \sum_{i=1}^n \alpha_i p_i + v \quad (15)$$

En Rodrick *et al* (2002), se preguntan: ¿Qué tanto ayuda a los hacedores de política económica saber que las instituciones son determinantes para el crecimiento económico? La respuesta que dan, es: en nada o en prácticamente nada. La utilidad práctica de saber que las instituciones son determinantes para el nivel de ingreso de un país es prácticamente nula.

El indicador de calidad institucional es el “rating” que hacen inversores “y otros observadores” del ambiente institucional. Los constructores de los índices cuantifican estas observaciones como la verosimilitud de que las inversiones sean rentables, que los inversores conserven los frutos de sus inversiones, que exista seguridad para las personas, que el sistema legal proteja sus derechos de propiedad, entre otras. Es relevante saber que estos “ratings” importan, pero es muy difícil saber cómo se forman estas evaluaciones, y lo que es más importante, cómo se pueden modificar. En términos de la formulación de instituciones, desarrollada antes, lo que se estima tanto en los trabajos de E&L como de Rodrik *et al.*, es β , mientras que lo que necesitan conocer quienes hacen política es α_i , esto es, el impacto de cada una de las políticas a su alcance sobre la variable “instituciones”.

Existe evidencia creciente de que un conjunto de instituciones deseables tiene un amplio elemento de especificidad en el contexto en el que operan; las cuales, se determinan por sus trayectorias históricas específicas, geografía, economía, política y otras condiciones iniciales. Esto puede ayudar a explicar por qué países en desarrollo, exitosos como China, India, Corea del Sur y Taiwán, entre otros, siempre combinaron elementos

heterodoxos con políticas ortodoxas, con lo cual lograron altas tasas de crecimiento del ingreso por habitante y disminución palpable de la pobreza.

En consecuencia, para acelerar su crecimiento, México debe desarrollar instituciones que no necesariamente corresponden con lo que proponen los organismos financieros internacionales, sino instituciones acordes con una estrategia de crecimiento propia.

Durante el período 1954-1982, México creó instituciones fuertes que hicieron al país rentable y atractivo para las inversiones a través de una estrategia de crecimiento conducida por el Estado, la cual permitió altas tasas de crecimiento del ingreso por habitante, que hicieron pensar en la existencia de un “milagro mexicano”. Incluso, se llegó a pensar que este rápido crecimiento llevaría a una convergencia absoluta con los EUA, y que en un futuro no muy lejano, México se convertiría en una economía desarrollada. Durante el período 1954-1982, el PIB por habitante de EUA fue en promedio 2.353 (α) veces el mexicano.

En contraste, a partir de la crisis de deuda, México abandonó esa estrategia y adoptó otra. Desde entonces, los resultados han sido poco alentadores, a pesar de la mayor integración de la economía mexicana a la economía de EUA. En términos de instituciones, esto quiere decir que no se ha creado un ambiente rentable, creíble y atractivo para los inversionistas. Según lo desarrollado en este trabajo, lo que se encuentra a partir de 1992 es una convergencia estable pero incompleta, en el sentido del vector $[1, -\alpha]$ de la ecuación (7), en la que el ingreso por habitante de EUA se estabiliza a un nivel de 4.785 (α) veces el mexicano. Lo que quiere decir que si no se cambia de estrategia o se mejora la existente, el destino del país será aceptar una situación tal, que el ingreso por habitante sea alrededor del 20.9% del de EUA, en forma permanente.

¿Qué fue lo que pasó en el país para que de un período rentable, atractivo y seguro para los inversionistas (con buenas “instituciones”) se transformara a otro poco rentable e inseguro (con malas “instituciones”)?

Conclusiones y comentarios

En este trabajo se analizó el proceso de convergencia del ingreso por habitante de EUA y México. Primero, se encontró un punto de ruptura en la evolución de esta relación en el último trimestre de 1982; esto llevó a analizar la brecha entre los dos ingresos durante dos períodos, y se halló que la brecha promedio durante el período 1983-2008, fue significativamente mayor que durante el período 1954-1982. Segundo, se analizó el proceso de

convergencia cotejando que estas variables estuvieran cointegradas y se verificó la estabilidad de los parámetros. Se observa que durante el período de 1954-2008 se dieron dos periodos claros de cointegración: el de 1954-1982 y el de 1992-2008. Enseguida, se procedió a verificar la estabilidad de los parámetros y se encontró inestabilidad en el período 1954-1982, con tendencia a la convergencia absoluta, es decir, que durante este período se estaba dando un proceso de alcance “catching up”. Luego, durante el período 1992-2008 se encuentra cointegración y estabilidad en los parámetros, lo que indica una convergencia estable pero incompleta hacia niveles menores de convergencia. El período 1983:1-1991:4 no fue analizado por no haber encontrado cointegración ni, por lo tanto, convergencia. Posteriormente, se estudió por separado la evolución del ingreso por habitante de EUA y México, y se obtuvo que la ampliación de la brecha entre los ingresos por habitantes de los dos países, se debió a un retroceso de la economía mexicana y no a una mayor tasa de crecimiento de la economía de EUA.

Finalmente, se ofrecen algunos comentarios e interpretaciones a partir de los resultados obtenidos en este trabajo, así como sobre el papel de las instituciones en la convergencia presentada en la sección anterior.

Se considera que el tema de la adopción de las instituciones anglosajonas como estrategia de desarrollo arroja poca luz sobre el camino a seguir para lograr el crecimiento o salir del estancamiento. Por otro lado, dados los buenos resultados de las políticas públicas nacionales aplicadas en México durante el período 1940-1982, en términos de crecimiento del PIB por habitante, habría que considerar la conveniencia de diseñar una nueva generación de Políticas Económicas de Estado que pongan énfasis en objetivos tales como promoción de exportaciones, industrialización, formación de capital humano, desarrollo de empresas nacionales y dotación de infraestructura, entre otros. Estas políticas en conjunto construirían nuevas instituciones que ofrecerían rentabilidad, estabilidad social y certeza a los inversionistas.

La solución no se va a dar de manera espontánea, se ha permanecido cautivo de una corriente de pensamiento que ha mantenido durante los últimos 28 años la misma estrategia, a pesar de los malos resultados. A juzgar por lo acontecido, las políticas públicas durante estos años no han sido capaces de construir las instituciones necesarias para acelerar el crecimiento.

Por su parte, el cambio de estrategia hacia otra más prometedora implica un gran esfuerzo de diseño de políticas públicas, pero es posible desarrollarla, ya existen muchos antecedentes. Puede comenzarse por rescatar lo positivo de la estrategia de industrialización seguida por México, durante el período 1940-1982. También se puede aprender de las experiencias que dejaron

Corea del Sur, Taiwán y Singapur durante las décadas de 1960 y 1970, y de las que se han seguido más recientemente en China e India. Finalmente, es posible incorporar a estas lecciones las aportaciones que ofrecen las nuevas teorías del desarrollo, esta estrategia podría ser incluso discutida y consensada con el Gobierno de EUA. La tarea no es fácil, pero sí posible y necesaria. Hasta ahora, ha faltado voluntad política para delinearla y aplicarla; no obstante, también eso puede cambiar.

Esta conclusión es una interpretación debatible de las causas y las soluciones del problema del estancamiento de la economía mexicana; pero, en un tema tan polémico, vale la pena plantearla para iniciar la discusión.

Referencias

- Acemoglu, D., S. Johnson, and J. Robinson (2001). "The Colonial Origins of Comparative Development: An Empirical Investigation." *The American Economic Review*, 91(5), 1369–1401.
- Andrews, D. (1993). "Test for Parameter Instability and Structural Change with Unknown Change Point." *Econometrica, Journal of the Econometric Society*, 61(4), 821–856.
- _____ and W. Ploberger (1994). "Optimal Tests When A Nuisance Parameter is Present only under the Alternative." *Econometrica, Journal of the Econometric Society*, 62, 1383–1414.
- Arroyo García, F. (2001). "Dinámica del PIB de las Entidades Federativas de México, 1980-1999". Revista Comercio Exterior de *BANCOMEXT*, 51(7).
- Barro, R. and X. Sala-i-Martin (1990). "Economic Growth and Convergence across The United States." *NBER*, Working Paper 3419.
- _____ (1991). "Convergence across States and Regions." *Brookings Papers on Economic activity*, 1, 107–182.
- _____ (1995). *Economic Growth*. New York: Mc Graw Hill, 1995.
- Bernard, A., and S. Durlauf (1995). "Convergence in International Output." *Journal of Applied Econometrics*, 10(2), 97–108.
- _____ (1996). "Interpreting Tests of the Convergence Hypothesis." *Journal of Econometrics*, 71, 161–173.
- Bourguignon, F. and C. Morrison (2002). "Inequality among world citizens: 1820-1992." *The American Economic Review*, 92(4), 727–743.

- Chiquiar, D. (2005). "Why Mexico's regional income convergence broke down." *Journal of Development Economics*, 77(1), 257-275.
- Davies, R. (1977). "Hypothesis Testing when a Nuisance Parameter is Present under the Alternative." *Biometrika: A Journal for the Statistical Study of Biological Problem*, 64, 247-254.
- Díaz, F. (2006). "No culpen de nuestros fracasos a reformas que no se han dado". Cato Institute. Washington, 4610, 202-218.
- Dollar, D. (2001). "Globalization, Inequality and Poverty Since 1980." *Development Research Group*. World Bank.
- Dollar, D. and A. Kraay (2002). "Trade, Growth and Poverty Policy." The World Bank, Policy Research Working Paper 2615.
- Dowrick, S. and J. B. De Long. (2003). "Globalization and convergence" in Michael D. Bordo, Alan M. Taylor, Jeffrey G. Williamson (Eds.). *Globalization in Historical Perspective*. Chicago: University of Chicago.
- Easterly, W. and R. Levine (2002). "Topics, Germs, and Crops: How Endowments Influence Economic Development." Mimeo. Center for Global Development Institute for Development Economics.
- _____, N. Fiess, and D. Lederman (2003). "NAFTA and Convergence in North America: High Expectations, Big Events, Little Time." *Economía*, 4 (1), 1-53.
- Frenkel, J. A. and D. Romer (1999). "Does Trade Causes Growth?" *The American Economic Review*, 89(3), 379-399.
- Hall, R. and C. Jones (1999). "Why Do Some Countries Produce So Much More Output per Worker than Others?" *Quarterly Journal of Economics*, 114(1), 83-116.
- Hansen, B. (1991). "Testing For Structural Change of Unknown form in Models with Nonstationary Regresors." Department of Economics, University of Rochester.
- Hawkins, D. (1987). "A Test for Change Point in a Parametric Model Based on a Maximum Wald-Type Statistics." *Sankhya: The Indian Journal of Statistics, Series A*, 49(3), 368-376.
- Johansen, S. (1988). "Stastical Analysis of Cointegration Vectors." *Journal of Economic Dynamics and Control*, 12(2-3), 231-254.
- _____, and K. Juselius (1990). "Maximum Likelihood Estimation and Inference on Cointegration with Applications to Demand for Money." *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 52, 169-210.

100 Ensayos

- Kim, H. and D. Siegmund. (1989). "The Likelihood Ratio Test For A Change Point In A Simple Linear Regression." *Biométrica: A Journal for the Statistical Study of Biological Problems*. 76(3), 409-423.
- Kim, J. (2000). "Detection of Change in Persistence of a linear Time Series." *Journal of Econometrics*, 95(1), 97-116.
- Linderr, P. and J. Williamson (2001). "Does Globalization Make the World More Unequal?" *NBER, Working Paper* 8228.
- Lucas, R. (1988). "On the Mechanics of Economic Development." *Journal of Monetary Economics*, 22, 3-42.
- Messmacher, M. (2000). "Desigualdad regional en México. El efecto del TLCAN y otras reformas estructurales." *División de Investigación Económica, Banco de México*. Documento de Investigación 4.
- Milanovic, B. (2001). "World Income Inequality in the Second Half of the Twenty Century." World Bank, Mimeo.
- Moncayo, E. (2004). "El debate sobre la convergencia económica internacional e interregional: Enfoques teóricos y evidencia empírica." *Revista Eure*, 30 (90), 7-26.
- Quah, D. (1995). "Empiric for Economic Growth and Convergence." *Centre for Economic Performance*, Discussion Paper, 253.
- Rodriguez, F. and D. Rodrik (2000). "Trade Policy And Economic Growth: A Skeptic's Guide To The Cross-National Evidence." Cambridge: *Working paper*. Department of Economics University of Maryland y John F. Kennedy School of Government, Harvard University.
- Rodrik D., Arvind S. and F. Trebbi (2002). "Institutions rule: The Primacy of Institutions Over Geography and Integration in Economic Development." *NBER, Working Paper*, 9305.
- Romer, P. (1986). "Increasing Returns and Long-Run Growth." *Journal of Political Economy*, 94(5), 1002-1037.
- Sachs, J. and A. Warner (1995). "Economic Convergence and Economic Policies." *NBER, Working Paper*, 5039.
- Sala-i-Martin, X. (2002). "The Disturbing Rise of Global Income Inequality." *NBER, Working Paper* 8904.
- Solimano, A. (2001). "The Evolution of World Income Inequality: Assessing the Impact of Globalization." *Serie Macroeconomía del Desarrollo, CEPAL*, 11.

- Solow, R. (1956). "A Contribution to the Theory of Economic Growth." *The Quarterly Journal of Economics*, 70, 65-94.
- Weisbrot M., D. Rosnik y D. Baker (2004). "Diez años de TLCAN: el recuento." *Economía*, 3, septiembre-diciembre.
- Williamson, J. (1995). "Globalization, Convergence and History." *NBER, Working Paper* 5259.
- Young, A. (1928) "Increasing Returns and Economic Progress." *The Economic Journal*, 38.

102 Ensayos

Anexo estadístico

Trimestre	PIB (EUA)	PIB (MEX)	POB (MEX)	POB (MEX)	Trimestre	PIB (EUA)	PIB (MEX)	POB (MEX)	POB (MEX)
1954-1	417,336	20,614	160,890	31,261	1966-1	689,117	43,930	194,865	45,487
1954-2	417,861	20,711	161,599	31,492	1966-2	691,410	44,137	195,428	45,835
1954-3	422,568	20,892	162,311	31,725	1966-3	695,962	44,521	195,993	46,185
1954-4	431,039	21,041	163,026	31,959	1966-4	701,597	44,839	196,560	46,538
1955-1	442,888	22,360	163,747	32,199	1967-1	707,585	46,612	197,096	46,898
1955-2	450,228	22,465	164,472	32,441	1967-2	707,748	46,831	197,633	47,261
1955-3	456,230	22,661	165,200	32,684	1967-3	713,381	47,239	198,172	47,627
1955-4	458,780	22,822	165,931	32,930	1967-4	718,835	47,576	198,712	47,996
1956-1	456,589	23,894	166,669	33,181	1968-1	733,068	49,933	199,209	48,372
1956-2	460,168	24,006	167,410	33,434	1968-2	745,518	50,167	199,707	48,751
1956-3	459,589	24,215	168,155	33,689	1968-3	750,624	50,604	200,206	49,134
1956-4	467,109	24,388	168,903	33,946	1968-4	753,871	50,965	200,706	49,519
1957-1	469,358	25,704	169,668	34,210	1969-1	765,930	52,967	201,197	49,912
1957-2	468,221	25,824	170,437	34,477	1969-2	768,168	53,216	201,689	50,309
1957-3	472,733	26,049	171,209	34,745	1969-3	773,023	53,680	202,182	50,708
1957-4	467,751	26,235	171,984	35,016	1969-4	769,395	54,062	202,677	51,111
1958-1	454,598	27,071	172,704	35,294	1970-1	768,066	56,445	203,268	51,522
1958-2	457,375	27,198	173,427	35,574	1970-2	769,456	56,710	203,861	51,936
1958-3	468,103	27,435	174,153	35,857	1970-3	776,312	57,204	204,456	52,354
1958-4	479,012	27,630	174,882	36,142	1970-4	768,066	57,612	205,052	52,775
1959-1	489,840	27,879	175,614	36,435	1971-1	787,460	58,799	205,701	53,178
1959-2	502,220	28,010	176,350	36,730	1971-2	791,925	59,075	206,352	53,585
1959-3	501,624	28,254	177,088	37,028	1971-3	798,244	59,590	207,006	53,994
1959-4	503,377	28,456	177,830	37,328	1971-4	800,477	60,015	207,661	54,407
1960-1	514,714	30,138	178,536	37,637	1972-1	814,691	63,790	208,218	54,797
1960-2	512,310	30,280	179,245	37,948	1972-2	834,006	64,089	208,776	55,190
1960-3	513,141	30,544	179,957	38,262	1972-3	841,998	64,648	209,335	55,586
1960-4	506,562	30,761	180,671	38,579	1972-4	855,859	65,109	209,896	55,984
1961-1	509,578	31,288	181,421	38,889	1973-1	876,810	69,154	210,397	56,373
1961-2	519,103	31,434	182,175	39,202	1973-2	886,952	69,479	210,900	56,765
1961-3	527,490	31,709	182,931	39,518	1973-3	882,222	70,085	211,404	57,160
1961-4	538,226	31,934	183,691	39,836	1973-4	890,638	70,584	211,909	57,557
1962-1	547,743	32,692	184,399	40,154	1974-1	885,233	73,380	212,394	57,945
1962-2	553,796	32,846	185,109	40,474	1974-2	887,505	73,725	212,879	58,335
1962-3	558,910	33,132	185,822	40,796	1974-3	878,724	74,368	213,366	58,728
1962-4	560,283	33,368	186,538	41,121	1974-4	875,262	74,897	213,854	59,123
1963-1	567,343	35,119	187,210	41,446	1975-1	864,035	77,497	214,382	59,508
1963-2	574,441	35,284	187,885	41,773	1975-2	870,630	77,861	214,911	59,895
1963-3	585,260	35,591	188,562	42,102	1975-3	885,296	78,540	215,441	60,285
1963-4	589,721	35,845	189,242	42,434	1975-4	896,864	79,099	215,973	60,678
1964-1	602,953	38,950	189,900	42,765	1976-1	916,184	80,783	216,487	61,060
1964-2	609,888	39,133	190,561	43,099	1976-2	923,059	81,162	217,002	61,444
1964-3	618,179	39,474	191,224	43,436	1976-3	927,594	81,870	217,518	61,831
1964-4	619,895	39,755	191,889	43,775	1976-4	934,325	82,453	218,035	62,220
1965-1	634,879	41,377	192,490	44,113	1977-1	944,572	83,564	218,584	62,601
1965-2	643,491	41,572	193,092	44,453	1977-2	963,331	83,956	219,134	62,985
1965-3	656,545	41,934	193,697	44,796	1977-3	980,562	84,688	219,686	63,371
1965-4	672,379	42,233	194,303	45,142	1977-4	980,364	85,291	220,239	63,760

PIB (EUA): PIB de EUA; PIB (MEX): PIB de México; POB (EUA): Población de EUA y POB (MEX): Población de México.

Los productos se miden en millones de dólares de EUA de 1990 (US\$ convertidos a Geary Khamis PPPs).

Las poblaciones en miles de personas.

Fuente: The Conference Board and Groningen Growth and Development Centre, Total Economy Database, June 2009.

...continúa anexo estadístico

Trimestre	PIB (EUA)	PIB (MEX)	POB (MEX)	POB (MEX)	Trimestre	PIB (EUA)	PIB (MEX)	POB (MEX)	POB (MEX)
1978-1	984,891	90,457	220,823	64,141	1990-1	1,449,741	125,827	249,431	84,524
1978-2	1,023,643	90,882	221,409	64,523	1990-2	1,453,776	128,571	250,132	84,914
1978-3	1,033,673	91,674	221,996	64,909	1990-3	1,452,559	130,319	250,968	85,309
1978-4	1,047,341	92,327	222,585	65,296	1990-4	1,447,125	131,975	251,807	85,707
1979-1	1,051,903	98,739	223,200	65,675	1991-1	1,437,879	132,378	252,648	86,106
1979-2	1,052,896	99,202	223,817	66,057	1991-2	1,444,392	134,396	253,493	86,507
1979-3	1,060,461	100,067	224,435	66,440	1991-3	1,450,519	134,652	254,339	86,906
1979-4	1,063,386	100,780	225,055	66,826	1991-4	1,459,142	137,083	255,188	87,308
1980-1	1,071,569	105,546	227,056	67,964	1992-1	1,474,692	137,141	256,040	87,711
1980-2	1,049,112	106,236	227,726	68,347	1992-2	1,488,697	139,404	256,894	88,115
1980-3	1,046,583	108,529	228,284	68,749	1992-3	1,502,519	140,694	257,730	88,503
1980-4	1,063,294	111,672	228,844	69,154	1992-4	1,519,244	140,810	258,569	88,892
1981-1	1,087,055	114,433	229,404	69,560	1993-1	1,523,113	141,402	259,411	89,283
1981-2	1,077,997	117,400	229,966	69,969	1993-2	1,529,284	140,763	260,255	89,675
1981-3	1,091,573	118,013	230,520	70,383	1993-3	1,538,400	143,028	264,237	91,572
1981-4	1,079,516	120,127	231,074	70,800	1993-4	1,555,413	143,741	265,040	91,956
1982-1	1,061,291	117,591	231,630	71,219	1994-1	1,575,171	145,495	265,846	92,342
1982-2	1,068,403	117,774	232,188	71,641	1994-2	1,594,791	148,051	260,255	89,675
1982-3	1,062,345	116,925	232,716	72,068	1994-3	1,603,555	149,436	264,213	91,560
1982-4	1,062,831	114,359	233,245	72,497	1994-4	1,622,341	151,073	264,992	91,932
1983-1	1,073,164	112,573	233,776	72,929	1995-1	1,628,257	144,053	265,773	92,305
1983-2	1,097,846	110,305	234,307	73,363	1995-2	1,631,853	135,562	266,557	92,680
1983-3	1,119,496	111,223	234,816	73,788	1995-3	1,641,808	137,338	267,331	93,045
1983-4	1,142,622	112,502	235,326	74,217	1995-4	1,656,233	140,466	268,108	93,412
1984-1	1,166,265	115,821	235,836	74,647	1996-1	1,670,036	144,208	268,886	93,780
1984-2	1,186,199	114,122	236,348	75,080	1996-2	1,695,310	144,564	269,667	94,150
1984-3	1,197,503	116,882	236,876	75,498	1996-3	1,708,547	146,886	270,475	94,499
1984-4	1,205,991	115,852	237,405	75,919	1996-4	1,729,876	150,486	271,285	94,849
1985-1	1,215,627	118,660	237,935	76,342	1997-1	1,742,566	152,785	272,097	95,200
1985-2	1,226,451	118,565	238,466	76,767	1997-2	1,771,249	154,965	272,912	95,553
1985-3	1,244,004	119,302	239,011	77,183	1997-3	1,791,938	157,442	273,709	95,869
1985-4	1,254,301	118,978	239,556	77,600	1997-4	1,804,022	160,646	274,509	96,185
1986-1	1,267,836	115,917	240,103	78,020	1998-1	1,826,543	162,677	275,311	96,503
1986-2	1,270,842	115,475	240,651	78,442	1998-2	1,838,094	163,883	276,115	96,822
1986-3	1,283,596	113,286	241,187	78,859	1998-3	1,856,430	165,368	276,907	97,142
1986-4	1,288,206	112,977	241,725	79,278	1998-4	1,885,564	165,392	277,700	97,463
1987-1	1,299,325	113,781	242,264	79,699	1999-1	1,901,886	166,798	278,496	97,785
1987-2	1,314,583	116,905	242,804	80,122	1999-2	1,918,653	168,902	279,295	98,108
1987-3	1,326,321	117,024	243,356	80,534	1999-3	1,939,733	171,972	280,053	98,430
1987-4	1,349,900	118,438	243,910	80,948	1999-4	1,975,892	174,342	280,813	98,754
1988-1	1,357,819	117,613	244,465	81,364	2000-1	1,979,026	178,953	281,575	99,078
1988-2	1,374,336	117,238	245,021	81,782	2000-2	2,010,820	181,692	282,339	99,404
1988-3	1,380,988	117,382	245,599	82,175	2000-3	2,007,260	183,623	283,008	99,705
1988-4	1,399,702	119,720	246,179	82,571	2000-4	2,022,272	182,697	283,678	100,007
1989-1	1,412,608	122,046	246,760	82,968	2001-1	2,015,839	182,958	284,350	100,310
1989-2	1,421,510	122,086	247,342	83,367	2001-2	2,023,200	182,058	285,024	100,614
1989-3	1,432,140	124,366	248,036	83,751	2001-3	2,010,572	181,220	285,684	100,917
1989-4	1,437,262	123,269	248,733	84,137	2001-4	2,029,971	180,491	286,347	101,220

PIB (EUA): PIB de EUA; PIB (MEX): PIB de México; POB (EUA): Población de EUA y POB (MEX): Población de México.

Los productos se miden en millones de dólares de EUA de 1990 (US\$ convertidos a Geary Khamis PPPs).

Las poblaciones en miles de personas.

Fuente: The Conference Board and Groningen Growth and Development Centre, Total Economy Database, June 2009.

104 Ensayos

...continúa anexo estadístico

Trimestre	PIB (EUA)	PIB (MEX)	POB (MEX)	POB (MEX)
2002-1	2,036,923	181,113	287,010	101,525
2002-2	2,045,983	183,125	287,676	101,830
2002-3	2,060,460	184,127	288,340	102,133
2002-4	2,065,367	183,971	289,006	102,438
2003-1	2,064,789	183,369	289,673	102,743
2003-2	2,085,734	185,213	290,343	103,049
2003-3	2,122,911	186,098	291,011	103,353
2003-4	2,141,317	187,838	291,682	103,658
2004-1	2,157,319	190,064	292,354	103,963
2004-2	2,171,196	192,108	293,028	104,270
2004-3	2,192,195	194,379	296,415	105,802
2004-4	2,200,210	196,885	297,097	106,111
2005-1	2,222,189	197,266	297,780	106,421
2005-2	2,236,974	196,197	293,028	104,270
2005-3	2,264,695	200,802	296,409	105,802
2005-4	2,264,675	202,077	297,086	106,111
2006-1	2,296,205	205,454	297,764	106,421
2006-2	2,310,132	208,289	298,444	106,732
2006-3	2,312,857	209,676	299,126	107,044
2006-4	2,327,475	210,651	299,809	107,356
2007-1	2,328,107	211,528	300,141	107,691
2007-2	2,351,111	214,446	300,474	108,027
2007-3	2,384,530	215,874	300,807	108,363
2007-4	2,395,595	216,878	301,140	108,701
2008-1	2,352,224	215,231	301,809	109,013
2008-2	2,368,665	218,201	302,479	109,326
2008-3	2,365,635	219,653	303,151	109,640
2008-4	2,327,199	220,675	303,825	109,955

PIB (EUA): PIB de EUA; PIB (MEX): PIB de México; POB (EUA): Población de EUA y POB (MEX): Población de México.

Los productos se miden en millones de dólares de EUA de 1990 (US\$ convertidos a Geary Khamis PPPs).

Las poblaciones en miles de personas.

Fuente: The Conference Board and Groningen Growth and Development Centre, Total Economy Database, June 2009.

Ensayos Revista de Economía de la Universidad Autónoma de Nuevo León,
volumen veintinueve, número uno, se terminó de imprimir el primero de mayo
del año dos mil diez en los talleres de Serna Impresos, S.A. de C.V., Vallarta
345 Sur, Monterrey, Nuevo León, México, C.P. 64000.

El tiraje consta de 30 ejemplares.

Ensayos Revista de Economía es una revista arbitrada que publica artículos de investigación inéditos de alto rigor académico en los campos de la economía aplicada y teórica, la estadística y las ciencias sociales afines. Se publican trabajos en español e inglés dos veces al año, enero y julio. Está indexada en EconLit (*American Economic Association*), SciELO México, Sistema de Clasificación de Revistas Mexicanas de Ciencia y Tecnología (CRMcyT) del Consejo Nacional de Ciencia, Humanidades y Tecnología (CONAHCYT), CLASE, Latindex, SciELO y puede consultarse en la base de datos Fuente Académica Premier™ de EBSCO y en RePEc (*Research Papers in Economics*).

Instrucciones para autores:

- Los trabajos deben corresponder a investigaciones concluidas que planteen claramente una hipótesis.
- Se dará preferencia a los trabajos que empleen un modelo teórico matemático como soporte o una metodología estadística/econométrica que someta a prueba la hipótesis.
- Los artículos deben enviarse acompañado de una carta firmada por el autor o los autores declarando que posee(n) los derechos de autor, que el trabajo es inédito y original, y que no está sometido, ni en proceso, para su publicación total o parcial en otra revista especializada o libro.
- El autor o los autores debe(n) enviar una copia de su currículum vitae.
- Los artículos pueden redactarse en inglés o español; sin embargo, el título, el resumen y las palabras clave deben presentarse en ambos idiomas.
- El resumen no excede las 150 palabras e incluye los códigos de clasificación JEL después del resumen.
- El título del trabajo debe ser claro y breve (máximo 10 palabras).
- Los manuscritos deben enviarse en formato compatible con Microsoft Word, con una extensión máxima de 45 cuartillas, interlineado de 1.5, y fuente Times New Roman tamaño 12.
- Las gráficas y cuadros deben enviarse en formato Excel. No se deben incluir gráficas o cuadros en formato de imagen.
- La sección de referencias incluye únicamente los trabajos citados en el texto, ordenados alfabéticamente y siguiendo el formato establecido para citar artículos, libros, capítulos de libros, informes técnicos, tesis, entre otras fuentes de información. Las instrucciones de citación están disponibles en la página de la revista.
- Los artículos deben enviarse de forma electrónica a través de la página de la revista: <http://ensayos.uanl.mx>. Para ello, el autor debe registrarse en la página como usuario y seguir los cinco pasos para nuevos envíos.

Ensayos Revista de Economía is a peer-reviewed journal that publishes original research articles of high academic rigor in the fields of applied and theoretical economics, statistics, and related social sciences. The journal publishes works in both Spanish and English twice a year, in January and July. It is indexed in EconLit (*American Economic Association*), SciELO Mexico, *Clasificación de Revistas Mexicanas de Ciencia y Tecnología* (CRMcyT) of the *National Council of Science, Humanities, and Technology* (CONAHCYT), CLASE, Latindex, SciELO, and can also be accessed through the *Fuente Académica Premier™* database by EBSCO and RePEc (*Research Papers in Economics*).

Author guidelines:

- The papers must correspond to completed research that clearly states a hypothesis.
- Preference will be given to papers that employ a supporting mathematical theoretical model or a statistical/econometric methodology that tests the hypothesis.
- Articles must be accompanied by a signed letter from the author(s) declaring ownership of the copyright, originality of the work, and that is not under review or in process for full or partial publication in another specialized journal or book.
- The author(s) must send a copy of their curriculum vitae.
- Articles may be written in English or Spanish; however, the title, abstract, and keywords must be presented in both languages.
- The abstract must not exceed 150 words, and should include JEL classification codes after the abstract.
- The article title should be clear and concise (maximum of 10 words).
- Manuscripts must be submitted in a Microsoft Word compatible format, with a maximum length of 45 pages, 1.5 line spacing, and Times New Roman font, size 12.
- Graphs and tables must be submitted in Excel format. Graphs or tables in image format are not accepted.
- The reference section should include only works cited in the text, listed alphabetically and following the citation format for articles, books, book chapters, technical reports, theses, and other sources. Citation guidelines are available on the journal's website.
- Articles must be submitted electronically through the journal's website: <https://ensayos.uanl.mx>. Authors must register as users and follow the five steps for new articles.

