



**Rodolfo Páez**

Lic. en Economía (UBA), Magister en Dirección de Empresas (MBA) (UADE), Director del Instituto de Investigaciones en Ciencias Económicas, Director de la Carrera de Comercio Internacional.

# La teoría del comercio interestelar de Paul Krugman: espacio - tiempo, economía y finanzas

**Resumen:** *Paul Robin Krugman, Premio Nobel de Economía 2008 por sus trabajos sobre Geografía Espacial y Comercio Internacional dio origen a la Nueva Teoría del Comercio Internacional hacia finales de los años setenta. Fanático de la ciencia ficción y de las novelas de Isaac Asimov, siendo asistente de cátedra en la Universidad de Yale en 1978, desarrolló un ensayo que tituló Teoría del Comercio Interestelar, sobre la base de la Teoría de la Relatividad Especial de Albert Einstein. Su trabajo concluyó, según sus propias palabras en dos teoremas verdaderamente ciertos desde el punto de vista teórico pero no útiles, por lo menos en la realidad actual, dada la inexistencia de comercio interplanetario. El trabajo da respuesta a cómo deben computarse los cargos por intereses de las mercaderías o capitales en tránsito entre dos planetas (Tierra y Trantor) cuando los mismos viajan aproximadamente a la velocidad de la luz. El estudio presenta ciertas “chicanerías” hacia la teoría ortodoxa neoclásica, opuesta a su posición teórica, cuando expresa que a lo mejor a través del comercio interestelar se encuentra algún planeta en el que*

*se compruebe lo sustentado por dicha concepción de la Economía.*

## 1. Paul Robin Krugman y la Nueva Teoría del Comercio Internacional

Paul R. Krugman nació en Albany, Nueva York en 1953. Se licenció en Economía en la Universidad de Yale en 1974. Luego, en 1977, obtuvo el Doctorado en Economía en el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT). Fue profesor de la Universidad de Yale, del Instituto Tecnológico de Massachusetts de la Escuela de Economía y Ciencia Política de Londres, antes de pertenecer al claustro de profesores de la Universidad de Princeton, cargo que ejerce desde el 2000.

De 1982 a 1983 ha sido parte del Consejo de Asesores Económicos (Council of Economic Advisers) en el Gobierno del presidente Ronald Reagan. Krugman trabajó en el panel de asesores de la empresa Enron durante 1999, renunciando en el 2000. A partir de este año ha sido columnista en la página de opinión del New York Times.

Es un fuerte crítico del enfoque neoclásico o liberal y, particularmente, de la

escuela monetarista. Generalmente, se encuadra a Krugman en el Neokeynesianismo, si bien sus posiciones no han sido siempre doctrinarias.

En 1991 obtuvo la medalla John Bates Clark, concedida cada dos años por la American Economic Association, en 2004 recibió el premio Príncipe de Asturias de Ciencias Sociales y en el 2008 fue galardonado con el premio Sveriges Riksbank, conocido como Premio Nobel de Economía. Obtuvo este premio por su análisis sobre los patrones comerciales y la localización de la actividad económica.

En los años setenta, más precisamente en 1979, Krugman da origen a la Nueva Teoría del Comercio Internacional, desarrollando un modelo que asume una estructura de mercado monopolística –competencia imperfecta– demostrando que el comercio entre dos países puede originarse sólo por la presencia de economías de escala y en ausencia de ventajas comparativas. Posteriormente, en 1981, articula un modelo en el cual tanto las ventajas comparativas como las economías de escala pueden generar comercio entre dos países. A partir de aquí la Nueva Teoría del Comercio

Internacional recibió muchos aportes sobre la base de estructuras de mercado de competencia imperfecta.

La Nueva Teoría del Comercio Internacional surge de combinar el análisis tradicional del comercio con los desarrollos teóricos de la Economía de la Organización Industrial. Con anterioridad a los años ochenta, muchos economistas sostenían que el comercio internacional podía explicarse por las economías de escala, aún en ausencia de ventajas comparativas. Pero surgía un problema en su fundamentación pues no se habían desarrollado modelos formalizados suficientemente claros que incluyeran dichos retornos crecientes a escala. El aporte teórico de la Economía de la Organización Industrial fue clave para que la teoría del comercio internacional incluyera en su análisis formal las economías de escala.

La Nueva Teoría del Comercio Internacional, con el aporte de la Economía de la Organización Industrial, se constituyó en un nuevo aporte para entender mejor el comercio entre países.

La Economía de la Organización Industrial se ocupa del análisis del funcionamiento de los mercados, en particular en lo referente al comportamiento competitivo de las empresas que intervienen en ellos. En tal sentido, clasifica a los mercados según se observen en ellos la existencia de una empresa dominante, o algún tipo de competencia, o que exista colusión o cartelización. Analiza temas como la influencia de ciertas prácticas comerciales sobre la estructura y funcionamiento de los mercados: obstaculización de la entrada de competidores, precios predatorios, discriminación de precios, contratos de exclusividad, concentraciones empresariales (horizontales, verticales y de conglomerado), entre otros.

Actualmente, la teoría económica reconoce dos razones que justifican la generación de comercio internacional:

- En primer lugar, los países comercian porque son diferentes entre sí

—en dotación de factores productivos, tecnologías o preferencias—, es decir utilizan la ventaja comparativa y cada uno produce y exporta lo que sabe hacer mejor;

- En segundo lugar, los países comercian para aprovechar las economías de escala (rendimientos crecientes a escala) y por lo tanto cada uno produce un número limitado de bienes, haciéndolo mejor y en mayor volumen, exportando el excedente e importando los que no fabrican.

En la base de la Nueva Teoría del Comercio Internacional reside una crítica al supuesto neoclásico de competencia perfecta. Descansa en la existencia de fallas de mercado, fundamentalmente en la existencia de *a*) economías de escala (rendimientos crecientes a escala), *b*) competencia monopolística y diferenciación del producto y *c*) comportamientos estratégicos a nivel mundial por empresas oligopolísticas.

## 2. La Teoría de la Relatividad y el Tiempo, base de la Teoría del Comercio Interestelar de Paul Krugman

En 1905, Albert Einstein dio a conocer la teoría de la “relatividad especial”. Esta teoría explica cómo interpretar el movimiento entre diferentes marcos de referencia inercial, es decir, entre dos puntos que se están moviendo a una velocidad constante, uno en relación al otro. Lo que interesa es constatar a qué velocidad se está moviendo uno en relación al otro.

La “relatividad especial” abarca un caso en el que el movimiento es uniforme. Explica el movimiento si el mismo se constata en línea recta a velocidad constante. En el momento en el que se acelere o se efectúe una curva (o cualquier otra situación que altere el movimiento de alguna forma) la “relatividad especial” deja de aplicarse. Es aquí donde entra en juego la teoría de la “relatividad general”. La teoría de la

“relatividad general” es de aplicación a cualquier tipo de movimiento.

La teoría de la relatividad de Einstein se basa en dos principios claves:

- El principio de la relatividad: puede expresarse de la siguiente manera: todas las leyes de la física son exactamente las mismas para cada observador en cada marco de referencia que está en reposo o moviéndose con una velocidad relativa uniforme. Esto significa que no hay ningún experimento que se pueda realizar dentro de un marco de referencia que revele si éste está en reposo o moviéndose a una velocidad uniforme.
- El principio de la velocidad de la luz: expresa que la velocidad de la luz (300.000 kilómetros por segundo) es la misma para todos los observadores, sin importar su movimiento en relación a la fuente que la emite.

La teoría de la “relatividad especial” dio lugar al enlace entre el espacio y el tiempo. El Universo se compone de tres dimensiones espaciales (izquierda, derecha, arriba/abajo y delante/atrás) y una dimensión temporal. A esta última se la denomina el continuo espacio-tiempo.

Presentemos el siguiente experimento: Un astronauta, Pedro, se encuentra en el interior de una nave espacial viajando a una velocidad uniforme muy cercana a la de la luz y en línea recta en relación con otra nave en la que está su colega Raúl, que permanece estacionario. En la nave espacial de Pedro, o sea en su marco de referencia, hay un reloj que mide el tiempo en intervalos precisos mediante un pulso láser. Habilitado, el pulso viaja directamente desde el láser, golpea un espejo y se refleja. Cuando el pulso regresa al punto inicial, es captado por un detector, que registra entonces el tiempo transcurrido al que llamaremos  $\Delta t_p$  (que se corresponde con un tiempo de ida y de vuelta al espejo) y emite otro pulso. Como la velocidad de la luz es constante y la

distancia que recorre es fija, el segundo pulso tarda exactamente la misma cantidad de tiempo  $\Delta t_p$  para realizar el viaje de ida y vuelta según Pedro. Son estos intervalos de tiempo idénticos los que se usan como un reloj, tic-tac, para medir el tiempo en la nave de Pedro.

Dado que Pedro viaja a una velocidad uniforme, el principio de relatividad de Einstein le dice que el reloj se comporta exactamente como lo haría si estuviese en reposo. De hecho, de acuerdo con este principio, él no podía decir a partir de este experimento si su nave está en reposo o en movimiento en relación con Raúl sin mirar hacia afuera de la nave espacial. Pero éste, que no está en marco de referencia de Pedro, sino en el suyo propio, le parece que avanza rápidamente en línea recta con respecto a él. Al observar el reloj láser de Pedro mientras su nave espacial pasa volando a su lado, ¿qué ve Raúl? Raúl ve algo diferente de lo que ve Pedro. Debido a que la nave espacial de Pedro se está moviendo con respecto a la de él, observa que el pulso de luz sigue una trayectoria en diagonal hacia el espejo y otra trayectoria diagonal hacia el detector. Usaremos el símbolo  $t_e$  para el tiempo que mide Raúl y  $\Delta t_r$  el tiempo transcurrido según él.

Ahora bien, según el segundo postulado de Einstein: la velocidad de la luz,  $c$ , medida debe ser la misma independientemente de que la observe Pedro o Raúl. Pero la distancia que recorre el pulso de luz durante un viaje de ida y vuelta tal y como lo ve Pedro es más corta de la que ve Raúl. Si llamamos  $d_p$  a la distancia total que recorre el pulso desde el emisor hasta el espejo y vuelta para Pedro y  $d_r$  para Raúl, podemos escribir que

$$c = d_p / \Delta t_p = d_r / \Delta t_r$$

Como  $d_r$  es mayor que  $d_p$ ,  $\Delta t_r$  debe ser mayor que  $\Delta t_p$ , para que las proporciones tengan el mismo valor,

$c$  Esto significa que el intervalo de tiempo ( $\Delta t_r$ ) para el viaje de ida y vuelta del pulso de luz, registrado en el reloj como Raúl lo observa, es más largo que el intervalo de tiempo ( $\Delta t_p$ ) registrado en el reloj cuando es Pedro el que observa.

La conclusión sorprendente de este experimento mental es que los intervalos de tiempo no son absolutos, sino relativos.

Del experimento podemos inferir que el tiempo y el espacio son percibidos de maneras diferentes para objetos que se mueven a velocidades cercanas a la de la luz. Si viajáramos al espacio a una velocidad muy próxima a la de la luz y permaneciéramos en él un cierto número de años, comprobaríamos, al regresar a la Tierra, que el tiempo pasó, para nosotros, mucho más lento que para las personas que permanecieron en el planeta.

### 3. Paul Krugman, la Ciencia Ficción y su inclinación hacia la Economía

Paul Krugman es un fanático de la ciencia ficción. Expresó que se inclinó por estudiar Economía después de leer la saga de la Fundación de Isaac Asimov, en la cual una supuesta ciencia aplicada, la “psicohistoria” se emplea para modelar y reducir un período de caos.

“Admittedly, there were those science fiction novels. Indeed, they may have been what made me go into economics. Those who read the stuff may be aware of the classic Foundation trilogy by Isaac Asimov. It is one of the few science fiction series that deals with social scientists ... the “psychohistorians”, who use their understanding of the mathematics of society to save civilization as the Galactic Empire collapses ... I love Foundation, and in my early teens my secret fantasy was to become a psychohistorian. Unfortunately, there’s no such thing (yet).

I was and am fascinated by history, but the craft of history is far better at the what and the when than the why, and I eventually wanted more. As for social sciences other than economics, I am interested in their subjects but cannot get excited about their methods ... the power of economic models to show how plausible assumptions yield surprising conclusions, to distill clear insights from seemingly murky issues, has no counterpart yet in political science or sociology. Someday there will exist a unified social science of the kind that Asimov imagined, but for the time being economics is as close to psychohistory as you can get”.

Cuya traducción sería:

“Ciertamente, hubo novelas de ciencia ficción (en mi educación). De hecho pudo haber sido lo que me hizo entrar en la economía. Aquellos que hayan leído de eso pueden recordar la trágica trilogías de la Fundación de Isaac Asimov. Es una de las pocas series de ciencia ficción que se ocupa de las ciencias sociales ... los “psicohistoriadores”, que utilizan su comprensión matemática de la sociedad para salvar a la civilización cuando el Imperio Galáctico se derrumba. Adoré Fundación, y en mi temprana adolescencia mi fantasía secreta era convertirme en un psicohistoriador. Lamentablemente, no hay tal cosa (todavía). Yo estaba y estoy fascinado por la historia, pero la capacidad de la historia es mucho mejor en el “qué” y el “cuándo” que en “la razón por la qué”, y yo quería más. En cuanto a las ciencias sociales distintas de la economía, estoy interesado en sus temas, pero no puedo sentir entusiasmo acerca de sus métodos ... el poder de los modelos económicos para mostrar cómo hipótesis plausibles rinden sorprendentes conclusiones, para destilar una visión de las cuestiones aparentemente confusas, no existe aún en las ciencias políticas o la sociología. Algún día existirá una ciencia social unificada del tipo de las que imaginaba Asimov,



pero por el momento la economía es lo más cerca que usted puede llegar”.

#### 4. La Teoría del Comercio Interestelar

En 1978, siendo asistente de cátedra en la Universidad de Yale Krugman redactó un ensayo, publicado en el 2010 en la revista *Economic Inquiry*, desarrollando una Teoría del Comercio Interestelar.

En el ensayo presenta una crítica velada a la Economía y a los estudios económico, particularmente al neoclasicismo. Así, chicaneando señala que una de las ventajas de estudiar el intercambio interestelar es que “eventualmente se descubra un planeta donde las leyes de la teoría económica ortodoxa (la neoclásica) sean aplicables”.

Además, tal vez, redactó también este trabajo por diversión dado que en el mismo es de resaltar el siguiente párrafo:

“While the subject of this paper is silly, the analysis actually does make sense. This paper, then, is a serious analysis of ridiculous subject, which is of course the opposite of what is usual in economics”.

Es decir, “Aunque el tema de este artículo es estúpido, el análisis tiene sentido. Este trabajo, entonces, es un análisis serio de un tema ridículo, que es por supuesto lo opuesto a lo que es usual en economía”.

Esta expresión, tiene su sentido porque en el trabajo se prueban dos teoremas que son ciertos pero que no son útiles actualmente, pues la Tierra no comercia con otros planetas.

Krugman plantea el siguiente problema: ¿cómo deberían computarse los cargos de interés sobre los bienes en tránsito cuando se viaja aproximadamente a la velocidad de la luz?.

Krugman señala que dos rasgos fundamentales distinguen el comercio interestelar del comercio interplanetario que conocemos:

- El tiempo que lleva de tránsito un viaje interestelar será muy largo, debido a que debe desarrollarse a menos tiempo que la velocidad de la luz, viajes redondos probablemente de cientos de años.

Como el comercio interestelar va a llevar mucho tiempo, cualquier decisión para comercializar un cargamento será necesariamente un proyecto de inversión a muy largo plazo y resultará difícilmente concebible a no ser que existan mercados futuros muy extendidos. Krugman, de hecho supone que los inversores, “humanos o no”, son capaces de hacer pronósticos perfectos respecto de precios por más de infinitos períodos.

- Si el comercio interestelar debe resultar práctico, las naves espaciales que conducen los bienes deben moverse a velocidades que sean fracciones razonables de la velocidad de la luz. Si las naves espaciales, con las que se transporta el comercio, se mueven a mayores velocidades ya no se podrá tener una medida inequívoca del tiempo que lleva de tránsito. El viaje que le lleva a una nave espacial para realizar un viaje redondo le parecería menor a un observador en la nave que al observador que permanece estacionario, por ejemplo en tierra.

Dado que un viaje interestelar es un proyecto de inversión y como tal para ser rentable debe tener un Valor Presente Neto positivo, el tiempo de tránsito se constituye en una variable muy importante a analizar.

Krugman considera el comercio entre dos planetas, la Tierra y Trantor. Asume que ambos planetas se encuentran en el mismo marco inercial, lo que le permite utilizar la teoría de la relatividad especial.

Suponiendo el caso de una nave con velocidad uniforme, si un viaje desde la Tierra hasta Trantor aparentemente lleva “ $n$ ” años para los observadores en el marco de referencia inercial entre

ambos planetas aparentemente llevará “ $n^*$ ” años dentro de la nave espacial.

$$n^* = n \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad (1)$$

siendo “ $V$ ” la velocidad de la nave espacial y “ $c$ ” la velocidad de la luz. Krugman aclara, que si bien él emplea la teoría de la relatividad especial, deja para los lectores ampliar, si lo desean, el análisis del comercio entre planetas extendiéndolo al uso de la relatividad general.

Entrando en el análisis de Krugman sobre el comercio interestelar digamos que abarca dos temas: a) el comercio interestelar de bienes y b) los movimientos interestelares del capital.

**a) Comercio Interestelar de bienes**  
Krugman, comienza con el análisis económico del comercio interestelar de bienes. Para ello, sea:

$p_E, p_T$  = precio de los bienes terrícolas y trantorianos en la Tierra

$p^*_E, p^*_T$  = Precios de los bienes terrícolas y trantorianos en Trantor

$r, r^*$  = tasas de interés en la tierra y en Trantor

$N$  = número de años necesarios para viajar de la Tierra a Trantor (o viceversa), tiempo medido por un observador en el marco inercial de Tierra-Trantor.

Todas estas variables, excepto  $N$  deben estar definidas en un determinado punto temporal, excepto si se especifica lo contrario. No obstante ello, Krugman hace el supuesto de que dichas variables permanecen de hecho constantes en el tiempo.

Supongamos que un mercader trantoriano decide comerciar con la Tierra. Supongamos, además que las tasas de interés son las mismas en ambos planetas. Luego el mercante podrá tener en su mente (o en su órgano equivalente) una serie de transacciones de la siguiente clase. Hará un gasto inicial de:

$$C + q_T^* p_T^*$$

Donde “ C ” es el costo de equipar la nave y  $q_T^*$  es la cantidad de bienes trantorianos en la nave espacial. Cuando la nave llegue a la Tierra, los bienes serán intercambiados por una cantidad de bienes de la Tierra; dada la anotación ya desarrollada, esta cantidad será:

$$q_E^* = \frac{q_T^* p_T^*}{p_E}$$

Finalmente, al regreso a Trantor, los bienes serán vendidos al precio  $p_E^*$ , produciendo ingresos iguales a:

$$\frac{q_T^* p_T p_E^*}{p_E}$$

Es esta transacción rentable?. Para responder a este interrogante, un mercader que se queda en su hogar en Trantor preguntará si el valor presente de los ingresos excede al costo inicial; ya que el viaje toma  $2N$  años (viaje de ida y vuelta). Desde el punto de vista de un observador estático, el criterio de decisión es:

$$\frac{q_T^* p_T p_E^*}{p_E} \geq (c + q_T^* p_T^*) (1 + r^*)^{2N} \quad (2)$$

Pero, supongamos que el mercante ha viajado con su cargamento? El viaje entonces desde su punto de vista ha llevado sólo:

$$2N \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

años, surgiendo un criterio alternativo de aceptación:

$$\frac{q_T^* p_T p_E^*}{p_E} \geq (c + q_T^* p_T^*) (1 + r^*)^{2N} \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad (2')$$

Estos criterios no pueden ser ambos correctos. Cuál es entonces el que vale? La respuesta solo puede ser hecha si se calcula el Valor Presente Neto, dado que este toma en cuenta el valor del dinero en el tiempo o costo de oportunidad. Consideraremos entonces el costo de oportunidad del

mercader implicándose como inversor: en vez de enviar el cargamento a la Tierra, adquiere un bono en Trantor y lo deja madurar obteniendo una ganancia. El valor del bono al regresar la nave espacial no depende del tiempo transcurrido a bordo de la nave. Por lo tanto la relación (2) es el criterio correcto y no (2’).

Con este razonamiento se concluye en el:

*1er. Teorema Fundamental del Comercio Interestelar: Cuando el comercio se lleve a cabo entre dos planetas en un marco inercial común, los costos del interés sobre los bienes en tránsito deben ser calculados empleando un tiempo medido por el reloj del marco común, y no por los relojes en los marcos de la nave espacial.*

Ahora bien, qué ocurre si el mercader en lugar de realizar un viaje redondo, viaja con su cargamento a la Tierra y se asienta en esta? Considerando un caso especial podemos observar que el argumento es aún válido. Supongamos que el costo de transporte aparte de los intereses sobre los bienes en tránsito son insignificantes y, supongamos aún más que la industria del transporte espacial sea competitiva, de tal manera que las ganancias converjan a cero. Entonces, la relación (2) se especificaría como (3) y el teorema seguiría siendo válido.

$$\frac{p_E^*}{p_T^*} = \left(\frac{p_E}{p_T}\right) (1 + r^*)^{2N} \quad (3)$$

Así, los precios relativos de los bienes no serían igualados; en cambio, habrá una cuña entre los precios relativos de la Tierra y en Trantor.

Ahora dentro de este caso especial, consideremos la posición de un trantorniano que planea migrar a la Tierra. Podría comprar una carga y venderla en la Tierra. Otra alternativa sería comprar un bono en Trantor y al llegar a la Tierra vender su crédito a un terráqueo que planea viajar en dirección opuesta. A causa de esta posibilidad alternativa, el hecho de que el mercader no planea por sí mismo hacer un viaje redondo no resulta esencial, pues lo que el terráqueo querrá pagar por el crédito reflejará lo que el bono habrá crecido en Trantor cuando el terráqueo llegue.

Un bono de crédito Trantoriano comprado por un comerciante a punto de migrar habrá crecido en valor a  $CrT(1 + r^*)^{2T}$  para el tiempo en que un migrante en la dirección opuesta pueda llegar a reclamarlo. Dicho migrante tendrá la oportunidad de cambiar el bono llevando bienes con él, entonces el arbitraje significaría que el precio del crédito en la Tierra será  $CrE(1 + r^*)^{2N} \left(\frac{p_E}{p_E^*}\right)$

Pero un crédito (Trantoriano) por un valor de carga transportado desde Trantor a la Tierra se vendería  $CrE \frac{p_T}{p_T^*}$  el

cual por (3) es igual a:  $CrE (1 + r^*)^{2N} \left(\frac{p_E}{p_E^*}\right)$ .

El mercader trantoriano será indiferente entre viajar con bienes o adquirir un bono para luego venderlo. Queda demostrado así que el primer teorema fundamental del comercio interestelar resulta válido, incluso si ninguna nave espacial o individuo hace un viaje redondo. Todo lo que se necesita es que haya comercio de dos caminos, con alguien o algo que vaya en cada dirección.

**b) Movimientos interestelares del capital**

En lo que respecta a los movimientos interestelares del capital Krugman quiere comprobar particularmente si el arbitraje interestelar podrá conducir a la igualación de las tasas de interés.

El arbitraje internacionalmente es posible porque un inversor depositar sus riquezas en distintos países mediante el uso de las comunicaciones, un llamado telefónico a su agente dándole instrucciones. En el ámbito interestelar el arbitraje resulta algo complicado pues los mensajes tienen que viajar a la velocidad de la luz, los bienes más lentos aún. Como hemos visto, esto implica que los precios relativos de los bienes van a variar de planeta a planeta, incluso si no existen costos de transporte. No será posible que las tasas de interés también difieran?

Para responder a este interrogante, Krugman analiza una particular transacción interestelar de capital. Supone que los costos de interés de los bienes en tránsito son sólo costos de transporte de manera que la ecuación (3) será válida para los precios relativos. Luego supone que un residente trantoriano lleva a cabo en la Tierra el siguiente set de transacciones: 1) transporta bienes a la Tierra, 2) a continuación invierte el dinero obtenido con la venta de esos bienes en bonos terráqueos durante “K” años, 3) luego compra bienes terráqueos y los transporta a Trantor.

La retribución con respecto a este set de transacciones, desde el punto de vista de una inversión, tiene que ser igual a la retribución con respecto a los bonos que se sostienen durante el mismo período, por ejemplo, 2N + K años.

Esto nos da la condición:

$$(1 + r^*)^{2N+K} = \left(\frac{p_E^*}{p_T^*}\right)\left(\frac{p_T}{p_E}\right)(1 + r)^K \quad (4)$$

Pero si usamos la relación (3), esto se reduce a  $r = r^*$ . Hemos llegado así al resultado en que las tasas serán iguales. Se llega así al:

*Segundo Teorema Fundamental del Comercio Interestelar: si seres pueden mantener activos en dos planetas en el*

*mismo marco inercial, la competencia equiparará las tasas de interés en ambos planetas.*

Combinando los dos teoremas desarrollados en este ensayo, se pueden encontrar un fundamento coherente para una teoría inicial de comercio interestelar entre dos planetas de un mismo marco inercial.

Viajes de comercio interestelar pueden ser considerados como proyectos de inversión, para ser evaluados a una tasa de interés que será común para los planetas.

Finaliza Krugman su trabajo expresando que “es el espacio la frontera final de la Economía?”. En verdad esto es sólo una primera prueba del tema, pero las posibilidades son seguramente infinitas. (En la curva espacio-tiempo, por supuesto, esto no impide las posibilidades de que sean a la vez finitas!). Ni siquiera he tocado el tema de mencionar las posibilidades fascinantes del aspecto financiero interestelar, donde el mercado de intercambio de un lugar a otro que tendrá que ser suplementado por mercados del presente condicionales. Aquellos como nosotros que estamos trabajando en este campo somos aún una banda pequeña, pero sabemos que la fuerza está con nosotros”.

**5. Ciencia ficción y Economía**

Noah Smith, profesor de Finanzas de la Universidad Estatal de New York expresó que “hay muchísima ciencia ficción que habla de economía”. En su perfil de Twitter se define como “semielfo” por sus orejas alargadas y en punta. Es autor de un excelente blog de Economía en el que señaló que “lo que hace que las visiones del futuro que plantean los autores de ciencia ficción sean interesantes no son sus particularidades técnicas, sino sus ramificaciones sociales”.

Además, Smith suele escribir artículos en The Atlantic. Noah Smith recogió en su blog algunos títulos del género de la ciencia ficción que tratan temas económicos de interés, que además son buenas obras literarias. Entre ellas podemos citar:

- A Deepness in the Sky”, de Vernon Vinge
- Makers, de Cary Doctorow
- The Dispossed, de Ursula K. LeGuin
- Down and Out in the Magic Kingdom, de Cory Doctorow
- Accelerando, de Charles Stross.

Muy recientemente Smith fusionó a dos de sus ídolos de manera de obtener un superhéroe: Kug-Tron, el invencible. Una mezcla de Paul Krugman y un personaje de los dibujos futuristas del Japón de los años ochenta. El superhéroe creado por Smith lucha contra enemigos diabólicos que lo atacan desde la ortodoxia económica (a la cual critica Krugman).

Paul Krugman por su parte, receptando lo elaborado por Smith en su blog de la plataforma de The New York Time



presentó su propia lista de recomendaciones. La principal obra recomendada por él es: “Trilogía de la Fundación: Fundación, Fundación e Imperio”, de Isaac Asimov.

La última edición de esta serie presenta a Krugman como autor de la Introducción. En la reproducción hecha por el periódico británico *The Guardian*, Krugman expresa que “las novelas de la Fundación de Isaac Asimov han sido la base de mi economía”.

Isaac Asimov, padre de la ciencia ficción moderna ha señalado que “las historias de ciencia ficción pueden seguir pareciendo triviales para los ciegos críticos y filósofos de nuestros días; pero la ciencia ficción, su esencia, el concepto alrededor del cual gira se ha transformado en algo importante para nuestra salvación, si hemos de ser salvados”. Esto resulta cierto ya que la ciencia ficción no sólo se constituyó en fuente de innovaciones y desarrollos tecnológicos, además de constituirse en un valor importante de consideración para el avance de la ciencia económica.

## 6. Conclusiones sobre la “Teoría del Comercio Interestelar de Krugman”

Paul Krugman caracteriza a su ensayo como un trabajo serio de un tema ridículo que es lo opuesto de lo que se utiliza en economía. Es serio porque a través de él se arriba a dos teoremas verdaderos y es un tema ridículo pues es poco útil dado que hoy el comercio entre planetas no existe, no es real.

No se conoce cuál fue la intención de Krugman para realizar este estudio, si fue para divertirse, entretenerse, o para criticar veladamente la teoría ortodoxa de los economistas neoclásicos o neoliberales.

Al respecto, es importante resaltar el final del ensayo de Krugman cuando expresa: “Es el espacio la frontera final de la Economía?. En verdad esto es sólo una primera prueba del tema,

pero las posibilidades son seguramente infinitas. (En la curva espacio-tiempo, por supuesto, esto no impide las posibilidades de que sean a la vez finitas!). Ni siquiera he tocado el tema de mencionar las posibilidades fascinantes del aspecto financiero interestelar, donde el mercado de intercambio de un lugar a otro tendrá que ser suplementado por mercados del presente condicionales. Aquellos como nosotros que estamos trabajando en este campo somos aún una banda pequeña, pero sabemos que la fuerza está con nosotros”.

Faraday respondió a una pregunta del primer ministro británico Robert Peel cuando, estando investigando sobre temas electromagnéticos en los años del siglo XIX, respecto de qué uso tendría la dínamo: “Sir, I don’t know, but i’ll wager that some day you’ll tax it” (Sir, no lo sé pero algún día podrá gravarlo con impuestos).

Pero, nadie puede predecir si la Teoría del Comercio Interestelar” de Krugman, en el futuro no da lugar a nuevas extensiones teóricas en economía y finanzas frente a nuevas realidades del mundo interplanetario.

Autores como Espen Gaarder Haug, profesor de finanzas cuantitativas de la Escuela Noruega de Ciencias de la Vida, describe la Matemática involucrada en el desarrollo de un cohete que podría permitirnos viajar a un 99 % de la velocidad de la luz. Tal cohete toma sugerencias de proyectos que utilizan fotones, como mecanismo de conducción.

Este cohete de fotones podría considerar la idea de viajar en el espacio profundo de manera accesible abriendo el Universo para la raza humana y su necesidad comercial y económico-financiera en general. No obstante ello, esta idea puede parecer improbable, la propuesta permanece dentro de la física natural.

Haug afirma que, ya que ninguna de las partículas fundamentales viaja más rápido que la velocidad de la luz, su propuesta sobre la velocidad de la nave

espacial, “también debe tener el límite de velocidad máxima absoluta para un cohete”.

Sin embargo Haug deja claro que tenemos un largo camino para recorrer antes de que podamos desarrollar cohetes de fotones que puedan enviar materiales o personas al espacio exterior. Esto implica que nuestras aspiraciones o sueños de viajar por ejemplo a Marte en menos de 5 minutos, pueden ubicarse en una posición de espera hasta que tengamos algunos grandes avances en la física de partículas.

El trabajo de Krugman, si bien puede aceptarse su caracterización como poco útil o ridículo hoy ya ha conducido a otras extensiones interesantes. En tal sentido, podemos mencionar dos trabajos de Haug titulados “Spice-time Finance, The Relativity Theori’s Implications for Mathematical Finance” y “Space-time Pareto Optimality Arbitrage-free Space-time Equilibrium”. En el primero de ellos, vinculando las finanzas con la teoría de la relatividad, relaciona los agujeros negros con el modelo de valoración de opciones, de Black-Scholes:

Haug, señala que para usar el modelo de Black Scholes cerca de un agujero negro tenemos que modificar la fórmula original teniendo en cuenta la gravitación y sus efectos en tiempo y volatilidad. Debido a la gravitación relativamente mucho más baja en la Tierra, podemos asumir que el tiempo es mucho más lejano. Un agujero negro es una región finita del espacio-tiempo, provocada por una gran concentración de masa en su interior con enorme aumento de la densidad lo que genera un campo gravitatorio tal que ninguna partícula material, ni siquiera los fotones de luz puedan escapar de dicha región.

Siguiendo a Haug, supongamos que estamos suspendidos en el aire rondando alrededor de un agujero negro y queremos dar un valor a una opción de comercio en la Tierra. Una opción

es un derecho, no una obligación, de tomar una acción a un determinado costo por un tiempo determinado. En finanzas se definen dos tipos de opciones: opciones de compra (Call options) y opciones de venta (Put options). Además hay opciones financieras, relacionadas con activos de este carácter, y opciones reales, relacionadas con activos físicos.

Mediante algunas simples reflexiones y cálculos descubrimos que el valor de nuestra opción de comercio en la Tierra debe ser el de una opción de compra, según el modelo de Black-Scholes (Call option):

$$C = N(d_1) S - N(d_e) E e^{-r_f \cdot t} \quad (5)$$

expresión en la que:

Variable o parámetro	Elementos principales	Significado
E	Precio del ejercicio	Costo asociado a la acción que se desea tomar Depende del tipo de opción.
S	Valor del subyacente	Está dado por el proyecto en el que se está invirtiendo. La identificación del activo subyacente depende de qué opción se esté analizando.
t	Vencimiento	Período durante el cual se tiene la posibilidad de ejercer la opción.
$\sigma$	Volatilidad	Volatilidad del activo subyacente
$r_f$	Tipo de interés	Tasa de interés libre de riesgo.
$N(d_1)$ y $N(d_2)$	Área de la función de distribución Normal (0, 1) comprendida entre $-\infty$ y $d_1$ y entre $-\infty$ y $d_2$ respectivamente	
$e = 2,7183$	Número base de los logaritmos naturales	

**Desvío estándar:**

$$d_1 = \frac{\ln(S/E) + (r_f + 0,5\sigma^2) t}{\sigma \sqrt{t}} \quad (6)$$

$$d_2 = d_1 - \sigma \sqrt{t} \quad (7)$$

Supongamos una estación espacial rodeando un agujero negro a un radio de 29.552 metros.

En relación con la volatilidad ( $\sigma$ ) debemos ahora concebirla con dos visiones:

$\sigma_f^*$  = volatilidad de un activo como se observa desde el agujero negro en el radio "r"

$\sigma_f$  = volatilidad de un activo como se observa en la Tierra

$$\sigma_f^* = \sigma_f \left(1 - \frac{2M}{r}\right)^{-1/4} \quad (8)$$

Donde "r" es el tiempo correcto (tiempo de reloj de muñeca) y "M" es la masa del centro de atracción medida en unidades de longitud. Veamos un ejemplo: la masa del sol es de 1477 metros; supongamos un agujero negro con 10 masas solares (14,77 Km.), luego el radio del agujero negro es  $2M = 2 \times 14.770 = 29.540$  metros. Este es el radio donde no hay retorno, excepto para la radiación Hawking (la producida en el horizonte de sucesos de un agujero negro, debida plenamente a efectos de tipo cuántico). Incluso la luz propiamente dicha será atrapada por el radio de Schwarzschild u horizonte de los agujeros negros



(radio en el que la velocidad de escape alcanza la velocidad de la luz).

Y la relación entre el riesgo lejano ( $r_f$ ) y el riesgo como se observa en la base espacial ( $r_f^*$ ) es:

$$r_f^* = \frac{r_f}{\sqrt{1 - \frac{2M}{r}}} \quad (9)$$

Similarmente la volatilidad de un activo comercial en la estación espacial rodeando el agujero negro sería:

$$\sigma_{base\ espacial}^* = \sigma_{base\ espacial} \left(1 - \frac{2M}{r}\right)^{1/4} \quad (10)$$

Donde  $\sigma_f$  es la volatilidad correcta propia de un activo comercial en la estación espacial alrededor del agujero negro en el radio “r”, y  $\sigma_f^*$  es la volatilidad del mismo activo como se observa lejos del campo gravitacional. La tasa libre de riesgo en la nave espacial como se observa desde un observador lejano sería:

$$r_{base\ espacial}^* = r_{base\ espacial} \sqrt{1 - \frac{2M}{r}} \quad (11)$$

Cuando se muestra una estructura moviéndose cerca de un campo gravitacional naturalmente necesitaremos tener en cuenta la teoría de la relatividad especial y la general.

Otros trabajos interesantes son el de Adam Chodorow, “Tax in the Final Frontier: A Theory of Interstellar Tax (2009)” y el de A. D. Wissner-Gross and C. E. Freer, “Relativistic Static Arbitrage”

Desde el punto de vista epistemológico, podemos señalar lo siguiente respecto del trabajo presentado por Krugman:

- Metodológicamente es impecable desde el punto de vista matemático y de la metodología de la Economía, aunque su puesta a prueba, es decir su corroboración con la realidad, dependa del futuro. Concluye en dos teoremas, verdaderamente ciertos desde el punto de vista teórico, tras un análisis hipotético deductivo que se sustenta en la teoría de la relatividad especial de Einstein.

- 1° Teorema Fundamental del Comercio Interestelar: cuando el comercio tiene lugar entre planetas en el mismo sistema de referencia inercial, el interés de los bienes en tránsito debe ser calculado usando el tiempo medido por los relojes del sistema de referencia común y no por los de la nave de transporte.
- 2° Teorema Fundamental del Comercio Interestelar: si seres inteligentes comercian con bienes o capitales en dos planetas en el mismo sistema inercial, la competitividad igualará los ratios de interés en ambos planetas.
- Parte de supuestos que pueden ser considerados no realistas en el sentido de Ernest Nagel (Ver mi artículo en Ateenea N° 14 sobre los supuestos de una teoría económica), pero útiles para caracterizar, encuadrar y simplificar el análisis sin perder consistencia para el razonamiento teórico.
  - Los dos planetas se encuentran en el mismo marco inercial.
  - Los viajes consumirán una gran parte del tiempo, viajes de ida y vuelta de cientos de años. Se trata de un comercio que toma un enorme período de tiempo y la decisión de su realización implicará un proyecto de inversión a largo plazo. Luego se requieren grandes mercados futuros. Los inversores –humanos o no– actúan como predictores perfectos de precios (perfect forecasters), es decir saben cuáles serán los precios del futuro.
  - Las naves espaciales que conducen los bienes deben moverse a una razonable fracción de la velocidad de la luz.

El desarrollo de las denominadas hoy Finanzas Cuánticas o Econofísica, tendrá en sus manos la puesta a prueba y, por tanto el reconocimiento de la utilidad del trabajo de Paul Krugman y sus extensiones por parte de otros estudiosos de la materia. Gaarder Haug expresa: “Yo disfruto de la idea de que la Finanza Espacio-tiempo jugará algún rol en el futuro. Incluso aunque la Finanza Cuantitativa no se pueda escapar de las leyes fundamentales de la Física”. Tal vez, la ciencia ficción también colabore.

## 7. Bibliografía

P. Krugman, M. Obstfeld, M. J. Melitz, "Economía Internacional. Teoría y Política", Pearson Education S.A. Madrid, 2012.

P. Krugman "The Theory of Interstellar Trade", Yale University, Julio 1978, Journal of Economic Inquiry, 2010.

E. Gaarder Haug, "Space-time Finance. The Relativity Theory's Implications for Mathematical Finance. WILMOTT Magazine, 2010.

E. Gaarder Haug, "Space-Time Pareto Optimality Arbitrage-free Space-Time Equilibrium", Internet, 2010.

A. Chodorow, "Tax in the Final Frontier: A Theory of Interstellar Tax", Tax Humor, Tax Notes, 2009.

A. D. Wissner-Gross, "Relativistic Statistical Arbitrage", University of Hawai'i at Manoa, 2010.

S. Hickman, "The Political Economy of Very Large Space projects", Journal of Economic Inquiry, 1999.

A. Einstein, "Sobre la Teoría de la Relatividad Especial y General", Ed. Alianza, 2008

I. Asimov, "Trilogía de la Fundación", Ed. De Bolsillo, 2010.

R. D. Bochini, J. I. García Eronti, E. A. Marquez, "Evaluación de Inversiones con Opciones Reales", Omicron Sistem S.A., 2006.