



ECONOMÍA, SOCIEDAD Y MEDIO AMBIENTE

Sumak Kawsay

Universidad Nacional de
Trujillo
Facultad de Ciencias
Económicas

TERMODINÁMICA Y ECONOMÍA

Resumen de la tesis (bachiller en física) defendida en la Escuela de Física de la Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas de la UNT en 2005. Disponible en línea en

<http://bibliotecas.unitru.edu.pe/busqueda.php>

<http://bibliotecas.unitru.edu.pe/index.php>

Autor:

José Luis Pereyra Díaz*. Bachiller egresado de la escuela de física, Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas, UNT.

Recibido 1 de Enero 2018; aceptado 28 de Febrero 2018

* Autor para correspondencia
E-mail joselpd007@gmail.com

TERMODINÁMICA Y ECONOMÍA

RESUMEN

Se estudio la teoría propuesta por W. Saslow de Analogía Económica a la Termodinámica, encontrando así, analogía entre las variables de estado de cada rama. Se encontró a partir de una descripción fenomenológica una relación de Gibbs –Duhem en economía, las condiciones de Slutsky, y la relación propuesta por la teoría marginalista entre el valor de intercambio y el valor en uso. Así como también se decidió probarla con datos macroeconómicos del Perú proporcionados por el Banco Central de Reservas del Perú. Con el fin de simplificar los cálculos, se considero que los sistemas económicos se encuentran en equilibrio, con la finalidad de poder hacer una analogía con la Termodinámica de Equilibrio. Además, se realizaron consideraciones fundamentales, como el de considerar que la riqueza de un consumidor o un país pequeño es constante, la existencia de una función utilidad mensurable (cuantificable). Del análisis de los datos, se pudo ver, que la teoría de W. Saslow, debe ser desarrollada en el campo de la termodinámica de No Equilibrio, razón por la cual la economía no es un sistema que se encuentra en equilibrio, sino que por el contrario, la economía es un sistema dinámico.

ABSTRACT

Will study the theory proposed by W. Saslow Economic analogy to thermodynamics, finding, analogy between the state variables of each branch. It was found from a phenomenological description of Gibbs -Duhem relationship in economy, Slutsky conditions and proposed by the marginal theory relationship between exchange value and value in use. And it was also decided to try it with Peru's macroeconomic data provided by the Central Reserve Bank of Peru. To simplify the calculations, it was considered that economic systems are in balance, in order to be able to make an analogy with equilibrium thermodynamics. In addition, fundamental considerations, such as considering that the wealth of a consumer or a small country is constant, the existence of a measurable utility function (quantifiable) was performed. The analysis of the data, you could see that the theory of W. Saslow must be developed in the field of non- equilibrium thermodynamics, why the economy is not a system that is in equilibrium, but by conversely, the economy is a dynamic system.

I. INTRODUCCION

Existen muchas analogías entre sistemas económicos y físicos en la economía, en particular existen implicaciones a la Termodinámica. Estas analogías se asemejan unas con otras, sobretodo por la forma en que tratan el concepto de entropía.

La idea de aplicar la forma de pensar de la termodinámica a la economía, no es novedosa, de hecho, en el pensamiento de Karl Marx. Para el pensamiento Marxista, la energía es un fluido tal y cual lo es el dinero [15]. Muchos consideran que este caso, corresponde a una forma de pensar del materialismo dialectico. Históricamente, el desarrollo de la termodinámica, se origino debido a la revolución industrial.

El premio nobel de economía Samuelson, sugirió que la economía y la termodinámica, tenían mucho en común [23], pero sus investigaciones no llegaron a ser tan profundas como la de Roegen Georgescu, quien realizo un minucioso estudio a una de las principales variables de estado de la termodinámica: La Entropía [10].

En 1998, Wayne Saslow, profesor de Texas A & M University propuso una analogía entre la termodinámica y la economía, específicamente, su desarrollo teórico se baso en la Teoría del Consumidor [20]. Esta analogía plantea descripción fenomenológica entre los sistemas termodinámicos y económicos. Se basa principalmente en la suposición de que un sistema económico está en equilibrio, además muestra la forma en que algunas variables de estado de la Termodinámica tienen sus respectivos análogos en la Economía.

Existen dos formas de trabajar en Termodinámica, la primera es encontrando la función de Energía Interna de un sistema termodinámico, la segunda es encontrando la función Entropía del Sistema. Sin embargo, la obtención de una función Energía interna o Entropía de modo teórico, no es posible del todo, salvo el hecho de que se haga suposiciones básicas, para obtener una función de forma aproximada, pero en la realidad, se puede obtener esas funciones para un sistema termodinámico de manera experimental [05].

Desde este punto de vista, W. Saslow, busca describir un sistema económico en base a una función por analogía con la Energía Interna, el problema la analogía propuesta por Saslow, es que no define claramente una temperatura y entropía para un sistema económico. Sin embargo, quienes toman el camino de buscar una formulación Termodinámica por la Entropía, encuentran que su análogo en la economía, es la Función de Producción utilizando la analogía entre la Segunda Ley de la Termodinámica y la Segunda Ley de la Economía, pero aun así la temperatura en economía, sigue siendo un concepto no muy

aclarado [06, 07, 19].

Cabe resaltar que los supuestos básicos de la teoría de W. Saslow de la analogía entre la termodinámica y la Economía, son:

1. Un sistema Económico en equilibrio. En la práctica, sabemos que los sistemas económicos, no son ni aislados, ni se encuentran en equilibrio, si no que son sistemas dinámicos.
2. La existencia de una Función Utilidad (el análogo a la Energía Interna), dicha función es
3. Mensurable.
4. La riqueza de un consumidor o pequeño país es constante.

II. FUNDAMENTO TEORICO

1. ANALOGIAS ECONOMICAS.

Los ejemplos de sistemas económicos de interés son un consumidor individual o un pequeño país, cada uno de los cuales ésta incorporado dentro de un gran sistema económico. Consideremos un consumidor individual. Una suposición fundamental en economía es que el consumidor emplea una función utilidad U para elegir, para comprar un bien por encima de otro. Asumiremos que U esta dado en un conjunto conveniente de unidades, tal como 200 soles, y también asumimos que U también es medible. La utilidad en la economía es un concepto psicológico, es decir no tiene un valor medible numéricamente. Este nos dice la satisfacción (subjetiva) que nos produce la tenencia de un objeto. Comenzamos discutiendo de ciertas relaciones fundamentales en la economía.

Primero consideramos la mensurabilidad de la cantidad económica conocida como riqueza W .

$$W = \lambda M + pN \text{ (Economía)}$$

(2.01)

donde λ y M representan el valor y el importe de dinero, p y N representan los vectores de precios y números de bienes. La riqueza, no solo es la parte material, es decir la cantidad de bienes que un individuo puede poseer, sino que también puede ser la parte monetaria, por ejemplo, M representa la cantidad de dinero que puede tener el individuo en el banco y λ representa en cuanto aumenta su dinero. W es conservado en una transacción, ya que es la energía total E de un sistema termodinámico, es tentador considerarlos como análogos. Desde el punto de vista de la maximización, una analogía natural es entre $-E$ y W .

Los economistas asumen que el valor de monedas y bienes de un consumidor individual es sumando por el valor de U que típicamente excede a W . El exceso es conocido como superávit, para lo cual introducimos la notación Ψ .

Así

$$\Psi = U - W \text{ (Economía)} \quad (2.02)$$

En una economía primitiva o muy escasa, ahí no hay superávit, así $\Psi = 0$. En este caso, todas las personas realizan la misma función económica en la misma eficiencia, y no hay beneficio de especialización y comercio. El superávit Ψ no puede ser negativo; para sistemas económicos típicos $\Psi < 0$.

La energía libre de Helmholtz de un sistema con N partículas idénticas esta definida como:

$$F = -PV + \mu N \text{ (Termodinámica)} \quad (2.03)$$

donde P es la presión, V es el volumen, y μ es el potencial químico de las partículas. La cantidad en termodinámica análoga al precio p es el potencial químico μ . Para tener una clara idea, el potencial químico, es entendido como una tendencia a la difusión [01]. Consideremos un país que produce un determinado bien, si el precio de ese bien en el mercado mundial es mayor que el precio de venta en dicho país, la tendencia habitual es que el país exporte ese bien, por tanto se produce un proceso de difusión de bienes del país hacia el exterior. Por el contrario, si el precio del mismo bien es menor en el extranjero que en el propio país, se produce un proceso de difusión de dicho bien hacia el interior del país [13].

La energía E está relacionada con F en términos de la temperatura T y la entropía S.

$$TS = E - F \text{ (Termodinámica)} \quad (2.04)$$

Una comparación de las ecuaciones (2. 02) y (2. 04) sugieren otra analogía, de que Ψ y TS.

Debido a que el superávit es cero para una economía no desarrollada, hacemos la tentativa del lenguaje común de temperatura económica T con el nivel de desarrollo económico.

Tabla I.
Resumen de las variables de estado sugeridas entre los sistemas Termodinámicos y Económicos

Termodinámico	-F	-E	TS	μ	N
Economía	W (riqueza)	U (Utilidad)	Ψ (Superávit)	p (precio)	N (# de bienes)

2. TERMODINAMICA, ENTROPIA Y EQUILIBRIO

La termodinámica opera con la transformación de calor en trabajo mecánico, y data desde el trabajo de Carnot (1824), quien estableció el principio de la cantidad límite de trabajo a partir de calor bajo condiciones dadas. El razonamiento por el cual Carnot estableció su principio es uno de los triunfos más extraordinarios del método deductivo [17].

El pensamiento de Carnot es la base de la Segunda Ley de Termodinámica. Es extraordinario que se estableció mucho antes de los estudios experimentales de James Joule (1845) que estableció la Primera Ley de la Termodinámica, que el calor es una forma de energía.

De acuerdo con James Joule, un sistema con un número fijo de partículas puede cambiar su energía en dos formas. Calor δQ puede entrar al sistema o el Trabajo δW que puede hacer el sistema. La conservación de energía es escrita como:

$$dE = \delta Q + \delta W \quad (2.05)$$

De los estudios de Carnot podemos mostrar que, en el equilibrio $\delta Q = TdS$, donde T es la temperatura y la entropía S es una función de estado del sistema. Además el trabajo hecho sobre el sistema de $\delta W = -PdV$, la conservación de la energía toma la forma [08]:

$$dE = TdS + PdV \quad (2.06)$$

Aunque la energía de un sistema termodinámico esta definida únicamente, su calor contenido (la integral de δQ) y su trabajo contenido (la integral de $-PdV$) no lo son [08, 22]. Un sistema puede ir desde un estado de energía a otro por un número infinito de procesos donde las contribuciones de trabajo y calor difieren [08].

Finalmente, si las partículas pueden entrar o salir del sistema por una cantidad dN , allí está un cambio de energía μdN . La relación fundamental de la termodinámica combina estos cambios de energía para dar:

$$dE = TdS + PdV + \mu dN \quad (2.07)$$

Consideremos dos cámaras de gases idénticos a la misma temperatura, presión y potencial químico. En la conexión de las cámaras, la energía E , el volumen V , y el número de partículas N del sistema combinado será la suma de las energías, volúmenes y número de partículas N del sistema combinado de partículas para los sistemas individuales. Tales variables son llamadas extensivas. La entropía S también es una variable extensiva. En la otra mano, la temperatura T , la presión P , y el potencial químico del sistema combinado no cambian. Tales variables son llamadas intensivas.

Otra forma de escribir la ecuación (2. 07) es al considerar la energía como una variable extensiva y una función de las tres variables S , V y N :

$$E = E(S, V, N) \quad (2.08)$$

Un conocimiento de $E(S, V, N)$ caracteriza el estado termodinámico del sistema. Por esta razón $E(S, V, N)$ es llamada función de estado del sistema.

Debido a que los cambios en la energía E son caracterizados por los cambios en S, V y N , tenemos de la ecuación (2. 08)

$$dE = (\delta E/\delta S) dS + (\delta E/\delta V) dV + (\delta E/\delta N) dN \quad (2.09)$$

Una comparación de las ecuaciones (2. 07) y (2. 09) conduce a la identificación:

$$T = (\delta E/\delta S)_{V,N}; P = (\delta E/\delta V)_{S,N}; \mu = (\delta E/\delta N)_{S,V} \quad (2.10)$$

Las relaciones de Maxwell son una consecuencia del hecho que el odren entrecruzado de las derivadas de $E(S, V, N)$ no importa. Luego, de las ecuaciones (2. 08) y (2. 10), tenemos

$$\begin{aligned} \delta^2 E/(\delta S \delta V) &= \delta^2 E/(\delta V \delta S) \text{ o } -(\delta P/\delta S)_{V,N} = (\delta T/\delta V)_{S,N} \\ \delta^2 E/(\delta S \delta N) &= \delta^2 E/(\delta N \delta S) \text{ o } (\delta \mu/\delta S)_{V,N} = (\delta T/\delta V)_{S,V} \\ \delta^2 E/(\delta N \delta V) &= \delta^2 E/(\delta V \delta N) \text{ o } -(\delta P/\delta N)_{S,V} = (\delta T/\delta V)_{S,N} \end{aligned} \quad (2.11)$$

Estas relaciones garantizan que las integrales sobre dE en S, V y N son caminos independientes.

Debido a que la energía es una cantidad extensiva, esta satisface:

$$E(\alpha S, \alpha V, \alpha N) = \alpha E(S, V, N) \quad (2.12)$$

Para un parámetro $\alpha > 0$. Esto es, escalando las cantidades extensivas S, V y N también escala la cantidad extensiva E , que depende de S, V y N [05]. Observe que T, P y μ no son cambiadas porque este escalamiento corresponde a sistemas que están en grandes tiempos α . Diferenciando la parte de la mano izquierda de la ecuación (2. 12) con respecto a α , y luego usando la ecuación (2. 12) y (2. 10) da.

$$\begin{aligned} dE(\alpha S, \alpha V, \alpha N)/d\alpha &= (\delta E(S, V, N)/\delta S)S + (\delta E(S, V, N)/\delta V)V + (\delta E(S, V, N)/\delta N)N \\ dE(\alpha S, \alpha V, \alpha N)/d\alpha &= TS + PV + \mu N \end{aligned} \quad (2.13)$$

Diferenciando la parte de la mano derecha de la ecuación (2. 12)

$$dE(\alpha S, \alpha V, \alpha N)/d\alpha = E(S, V, N) \quad (2.14)$$

Igualando las ecuaciones (2. 13) y (2. 14) obtenemos la relación fundamental:

$$E(S, V, N) = TS - PV + \mu N \quad (2.15)$$

Sustrayendo la ecuación (2. 09) de la diferencial de la ecuación (2. 15), da la relación de Gibbs-Duhem [05, 11, 21]

$$0 = SdT - VdP + Nd\mu \quad (2.16)$$

La variación del potencial químico no es independiente de las variaciones de temperatura y presión, sino que la variación de uno cualquiera de ellos puede calcularse en función de las variaciones los otros dos [05]. La relación de Gibbs-Duhem presenta la relación entre los parámetros intensivos en forma diferencial [11].

Para algunos efectos, el conjunto (T, V, N) en lugar de (S, V, N) es un conjunto de variables mas natural. En este caso, el potencial termodinámico apropiado es la energía libre de Helmholtz F. Combinando las ecuaciones (2. 03) y (2. 15) obtenemos

$$F = E - TS \quad (2.17)$$

Usando las ecuaciones (2. 10) y la ecuación (2. 17), dF satisface

$$dF = dE - TdS - SdT = -SdT - PdV + \mu dN \quad (2.18)$$

Observe que $dF = 0$ para un sistema a V y N fijos en contacto con un reservorio térmico que fija T. Mas, al fijar T y N, el trabajo $dW = -PdV$ hecho en el sistema es igual a dF. Esta relación es el origen de la terminología energía libre.

La ecuación (2. 17) es la transformación de Legendre de la energía y nos permite ir desde una función con variables naturales (S, V, N) a una con variables naturales (T, V, N) [05]. Las variables S y T se dice que son duales entre si, como las variables V y P, y N y μ . Si un sistema tiene dos posibles estados con las mismas T, V, y N, el estado con menor energía libre $F(T, V, N)$ es termodinámicamente estable.

Usando estas variables naturales, la ecuación (2. 03) para F puede ser escrita como:

$$F(T,V,N) = - PV + \mu N \quad (2.19)$$

3. RELACIONANDO TERMODINAMICA Y ECONOMIA

Un conocimiento de la función de estado como una función de los parámetros apropiados económicos caracteriza el sistema económico.

De la relación económica introducidas anteriormente

$$\psi = TS \quad (2.20)$$

Y de la ecuación (2. 02)

$$U = TS + W = TS + \lambda M + pN \quad (2.21)$$

Una comparación de la ecuación (2. 21) para U a la ecuación (2. 15) sugiere que, desde el punto de vista de su conjunto de variables naturales, tenemos

$$U = U(S,M,N) \quad (2.22)$$

La relación (2. 22) es nuestra suposición fundamental.

El equivalente económico de la ecuación (2. 07) es

$$dU = TdS + \lambda dM + pdN \quad (2.23)$$

Donde

$$T = (\delta U/\delta S)_{M,N} ; \lambda = (\delta U/\delta M)_{S,N} ; p = (\delta U/\delta N)_{S,M} \quad (2.24)$$

En el libro La Riqueza de las Naciones, Adam Smith distinguió entre dos medidas de utilidad. Una medida es el “valor a cambio”. En economía esto es convencional a identificar el valor a cambio con el precio. A partir de la ecuación (2. 24), tomamos esta medida a ser la utilidad marginal por bien dU/dN a S y N fijos.

Queremos identificar “valor en uso” con la utilidad marginal por bien dU/dN para otro conjunto de variables fijas. Por simplicidad, lo haremos tomando M como fijo, pero no podemos ser explícitos acerca de la segunda variable que tendrá que ser fija, y simplemente indicamos como x. A partir de la ecuación (2. 23) a continuación tenemos

$$(\delta U/\delta N)_{x,M} = T (\delta S/\delta N)_{x,M} + p \quad (2.25)$$

Uno de los grandes triunfos del siglo diecinueve en la teoría económica “marginalista” está en el siguiente argumento: Un consumidor compra bienes sujetos a la condición de que la relación entre el valor de cualquier bien en uso para su precio p acepta en un valor común [18]. Esta declaración siguiente en que requieren que, para fijar los valores de mercado de bienes, U es maximizada para cada bien. Fijar el valor de mercado significa que los productos 1 y 2 se intercambian en el mercado sujetos a la condición.

$$0 = p_1 dN_1 + p_2 dN_2 \quad (2.26)$$

La maximización de U requiere que

$$0 = (\delta U/\delta N_1)_{x,M} dN_1 + (\delta U/\delta N_2)_{x,M} dN_2 \quad (2.27)$$

Combinando las ecuaciones (2. 26) y (2. 27) a continuación, da

$$1/p (\delta U/\delta N)_{x,M}, = \text{constante} \quad (2.28)$$

Para cada bien. Por lo tanto, la relación en valor en uso de precios es una constante.

Usando la ecuación (2. 25); la ecuación (2. 28) puede ser expresada como

$$1/p (\delta U/\delta N)_{x,M}, = T/p (\delta S/\delta N)_{x,M} + 1 = \text{constante} \quad (2.29)$$

Representamos con m el valor en uso (utilidad marginal por bien, a x y M fijos)

$$M = (\delta U/\delta N)_{x,M}, \quad (230)$$

Observe que m esta especificado en unidades monetarias. A partir de las ecuaciones (2. 28) y (2. 29), la relación m/p tiene las dimensiones para todos los bienes.

La relación m/p puede ser generaliza a incluir el valor de las monedas, permitiendo así el estudio del ahorro. Específicamente, definimos

$$m_\lambda = (\delta U/\delta N)_{x,M}, \quad (2.31)$$

Si usamos las ecuaciones (2. 21) al relacionar W y U , la analogía con el desarrollo asociado con F conduce a

$$dW = -SdT + \lambda dM + p dN \quad (2.32)$$

donde

$$S = (\delta U/\delta T)_{M,N} ; \lambda = (\delta U/\delta M)_{T,N} ; p = (\delta U/\delta N)_{T,M} \quad (2.33)$$

De la ecuación (32) podemos escribir la dependencia funcional

$$W = W(T,M,N) \quad (2.34)$$

Considerando el mercado como un reservorio r , tenemos de la ecuación (2. 32)

$$dW_r = -S_r dT_r + \lambda_r dM_r + p_r dN_r \quad (2.35)$$

Sujeto a las condiciones $dT = dT_r = 0$, la conservación de monedas ($dM + dM_r = 0$), encontramos mediante la adición de las ecuaciones (2. 32) y (2. 35) que

$$dW + dW_r = (\lambda - \lambda_r) dM + (p - p_r) dN \quad (2.36)$$

La parte de la mano derecha de la ecuación (2. 36) es cero para variaciones arbitrarias de dM y dN solo si el valor de la moneda para el consumidor es la misma que el valor de la moneda para el mercado $\lambda = \lambda_r$. Similarmente, para el

valor de un bien, tenemos $p = p_r$.

Observe que la ecuación (2. 01) da la diferencial

$$dW = \lambda dM + p dN + Md \lambda + Ndp \quad (2.37)$$

La consistencia de las ecuaciones (2. 37) y (2. 32) requiere que

$$0 = SdT + Md \lambda + Ndp \quad (2.38)$$

La ecuación (2. 38) es el análogo de la ecuación (2. 16), la relación de Gibbs-Duhem. Entre otras cosas: que implica que una disminución en el precio de la moneda o los bienes (como cuando el estado desarrolla un aumento económico) es acompañado por un aumento de la temperatura económica. Este comportamiento cualitativo se espera del razonamiento económico convencional. En concreto, si todos los precios y valores de moneda se incrementan por un factor común, a continuación, el sistema en realidad no cambia. Por la ecuación (2. 38) la temperatura no es más que aumento en el factor común.

Podemos escribir el cambio en el superávit Marshalliano, $\Psi = TS$ como

$$d\Psi = TdS + SdT = TdS - Md \lambda - Ndp \quad (2.39)$$

Interpretamos el termino TS como el cambio en el valor económico del ocio. Llamaremos TdS el superávit Vebleniano. El termino $-Ndp$ es el cambio en el superávit del consumidor de los bienes. Llamaremos a $-Ndp$ el superávit Smithiano. Igualmente, el termino $-Md\lambda$ puede ser interpretado como un superávit en la moneda, debido a la eficiencia producida por la especialización.

Para ver que $-Ndp$ es un superávit, tenga en cuenta que el costo de los bienes adquisitivos incrementan (donde los primeros bienes son escasos y, por lo tanto, son costosos) es $\int_0^N p dN$, donde $p(N)$, el precio del bien enésimo, disminuye a medida que N aumenta (es decir, $dp/dN < 0$). Sin embargo, cuando se compran todos a la vez, el costo real para el consumidor es Np . La diferencia es

$$\int_0^N p dN - Np = - \int_{p(=0)}^{p(N)} N dp \quad (2.40)$$

La diferencia es positiva, ya que para los límites de la integración de la ecuación (2. 40) dp es negativo. De ahí que $-Np$ es el cambio en el excedente del consumidor de los bienes.

Las siguientes "Relaciones de Maxwell" son una consecuencia inmediata del hecho de que el orden entrecruzado de las derivadas de $U = U(S, M, N)$ no importa

$$\delta^2 U / (\delta S \delta N) = \delta^2 U / (\delta S \delta N) \quad \text{o} \quad (\delta P / \delta S)_{M,N} = (\delta T / \delta N)_{S,M}$$

$$\begin{aligned} \delta^2 U / (\delta S \delta M) &= \delta^2 U / (\delta M \delta S) \text{ o } (\delta \lambda / \delta S)_{M,N} = (\delta T / \delta M)_{S,N} \\ \delta^2 U / (\delta S \delta N) &= \delta^2 U / (\delta S \delta N) \text{ o } (\delta p / \delta N)_{S,M} = (\delta \lambda / \delta V)_{S,N} \end{aligned} \quad (2.41)$$

En economía estas relaciones son conocidas como condiciones de Slutsky [18, 20]. Esto garantiza que las integrales sobre dU en S , M y N son caminos independientes.

4. TERMOMETRIA EN TERMODINAMICA

Hemos asumido hasta ahora que la temperatura económica es una cantidad bien definida. Sin embargo, en la termodinámica que tomo cientos de años antes de que los termómetros cualitativos basados en la altura de una columna de líquido fueron debidamente calibrado contra una escala de temperatura absoluta T . La ley del gas ideal hace que la determinación de la temperatura absoluta sea relativamente simple. Cuando es aplicable a los gases reales a baja densidad N/V y alta temperatura absoluta T , la ley de los gases ideales, $PV = Nk_B T$, hace que la termometría sea relativamente fácil (k_B es la constante de Boltzmann). Por lo tanto, una medición de P y N/V da T .

Será difícil encontrar un análogo económico para el termómetro de gas ideal. Una diferencia es que la velocidad de las partículas de un gas ideal no tiene límite superior y un límite inferior limita su energía, mientras que un agente económico ha delimitado valores para su riqueza y utilidad. Sin embargo, las sales magnéticas se comportan, por un rango limitado de temperaturas, como si solo tiene un número finito de niveles de energía.

La termometría común implica la lectura de la altura de una columna de un fluido o la posición de un puntero conectado a una bobina de alambre. Ambas cantidades dependen del coeficiente de expansión térmica. Otras formas de termometría dependen de otras variables dependientes de la temperatura. A temperatura ambiente, estos pueden ser calibrados contra otro termómetro de resistencia de carbono; su resistencia eléctrica es una medida de la temperatura. En el rango de los milikelvin, las calibraciones se hacen con termómetros que utilizan ciertas sales magnéticas. A temperaturas muy bajas y muy altas, es difícil de realizar cualquier termometría en absoluto. Por consiguiente, consideramos el problema general de cómo podemos calibrar una medición de una cantidad (por ejemplo, la resistencia eléctrica), que llamaremos τ , frente a una temperatura termodinámica absoluta T .

Recordemos que $T = 0$ para todas las escalas de temperatura termodinámica. Sin embargo, no existe una escala absoluta para la temperatura. Recordemos que $T = 0$ para todas las escalas de temperatura termodinámica. Sin embargo, no existe una escala absoluta para la temperatura. Al establecer (aproximadamente) 273 grados para ser el punto de agua, o el uso de la temperatura del punto triple de un material puro, determina la escala Kelvin de temperatura de los conocimientos tradicionales. En otro planeta, la escala de temperatura termodinámica sería diferente, pero sólo por un factor de escala. Si los habitantes de otro planeta llamado el punto de agua 546 grados de congelación, sabríamos que sus temperaturas son el

doble que en la escala Kelvin.

La determinación de la escala de temperatura. En general, la propiedad termométrica τ depende de T , P y N . Para este termómetro, debemos determinar la temperatura termodinámica T como una función de τ , V y N . La discusión de que plantea W. Saslow; es una extensión de Landau y Lifshitz, donde considera un termómetro que mide una cantidad τ dependiendo solamente de la temperatura T : $\tau = \tau(T)$ [12].

Resumiremos (2.42 a 2-48) de esta manera. Considere una cantidad medible, la ganancia de calor $dQ = TdS$, y cómo varía con un cambio en la presión a la temperatura T y N fijo. Nos resultará útil emplear la relación de Maxwell [basado en la energía libre de Gibbs $G(T, P, N) = E - TS + PV$] para reorganizar todo e integrar para obtener la escala de temperatura T como $T=T(\tau,P,N)$ en términos de cantidades medibles.

Mediante el uso de V fijo y variando N , podemos obtener $T(\tau, V, \mu)$ a través de algunas relaciones que nos indican que hay más de una manera de obtener una escala de temperatura.

La discusión anterior sugiere al menos ocho formas de realizar termometría. En T fijo, medimos la dependencia de dQ a ambos dV o dP , ya sea N fijo o μ fijo, se mide la dependencia de dQ a ambos dN o $d\mu$ ya sea fijo V o fijos P . Dos pares de estas ocho mediciones llevan a τ como una función de las mismas variables fijas.

5. TERMOMETRÍA EN ECONOMÍA

Habiendo descrito algunos desarrollos de la complejidad de la termometría en la física, ahora indicamos cómo realizar termometría en economía. Para ello, es fundamental que seamos capaces de medir $dQ = TdS$, el superávit Vebleniano, y que tenemos una cantidad que puede servir como un termómetro. Por la ecuación (2. 23), tenemos

$$TdS = dU - \lambda dM - p dN \quad (2.49)$$

Por lo tanto, si podemos medir dU , λ , dM , p , y dN , entonces podemos medir $dQ = TdS$.

Vamos a suponer que tenemos un poco de t indicador económico que depende de T , λ y N . Para emplear la relación $\tau(T, \lambda, N)$, que requerirá una nueva condición Slutsky térmica, obtuvimos usando el análogo económico de la energía libre de Gibbs. Escribimos

$$V(T,p,M) = U - TS - \lambda M \quad (2.50)$$

Donde $\mathcal{V} = pN$ se obtiene utilizando la ecuación. (2. 21) y es el valor monetario

de los bienes. Su diferencial satisface

$$dV = -SdT - \lambda dM + pdN \quad (2.51)$$

Que sigue en la sustitución de la ecuación. (2. 23) en el diferencial de la ecuación. (2. 50). Entonces

$$(\delta^2 V / \delta \lambda \delta T)_N = (\delta^2 V / \delta T \delta \lambda)_N \quad (2.52)$$

Lo que conduce a

$$(\delta S / \delta \lambda)_{T,N} = (\delta M / \delta T)_{\lambda,N} \quad (2.53)$$

Utilizando la ecuación (2. 53) y $dQ = TdS$, tenemos

$$(\delta Q / \delta \lambda)_{T,N} = T (\delta S / \delta \lambda)_{T,N} = -T (\delta M / \delta T)_{\lambda,N} = -T (\delta M / \delta T)_{\lambda,N} (\delta T / \delta T)_{\lambda,N} \quad (2.54)$$

que puede ser reorganizado para escribir

$$1/T (\delta T / \delta \tau)_{\lambda,N} = - ((\delta M / \delta T)_{\lambda,N}) / ((\delta Q / \delta \lambda)_{T,N}) = f(\tau, \lambda, N) \quad (2.55)$$

El lado izquierdo de la ecuación. (2. 55) se encuentra en λ fijo y N , de modo que el lado derecho debe escribirse en términos de las variables τ , λ , y N , lo que explica la notación $f(\tau, \lambda, N)$. Entonces podemos integrar de T_0 y el τ_0 correspondiente para obtener

$$\ln(T/T_0) = \int_{\tau_0}^{\tau} f(\tau, \lambda, N) d\tau ; f(\tau, \lambda, N) = - ((\delta M / \delta T)_{\lambda,N}) / ((\delta Q / \delta \lambda)_{T,N}) \quad (2.56)$$

donde $dQ = TdS$ como de costumbre. De la ecuación (2. 56) podemos obtener, en principio, la escala de temperatura T (τ , λ , N) en términos de las cantidades mensurables τ , λ , N . Tenemos que ser capaces de medir las cantidades que aparecen en la expresión para $f(\tau, \lambda, N)$. Especialmente difícil de medir es el cambio en el excedente Vebleniano, $dQ = TdS$. Por la ecuación. (2. 24), esta cantidad es también el cambio en la utilidad en bienes fijos y dinero, y en esa forma su mensurabilidad es objeto de debate entre los economistas. El presente trabajo se basa en la suposición de la capacidad de medición de la utilidad. Son posibles otras formas de termometría económica que son quizás más práctico para aplicar por analogía a termometría en termodinámica.

6. TERMODINÁMICA Y MACROECONOMÍA

Tanto la termodinámica como la Macroeconomía, operan con variables que definen el estado macroscópico del sistema en estudio. El paso de las variables definidas por W. Saslow en la Teoría del Consumidor a la Macroeconomía, se sigue de forma fenomenológica.

Para el caso del valor del dinero λ y el importe de dinero M , cada país cuenta

con una cantidad de Reservas Internacionales (que de ahora en adelante será M), los cuales son un depósito de moneda extranjera controlados por los bancos centrales y otras autoridades monetarias. Estos activos se componen de diversas monedas de reservas, especialmente dólares y euros. Y el valor del dinero, será el precio de dichas divisas en el país de origen, conocido como tipo de Cambio (ahora λ).

Para considerar un análogo macroeconómico de la entropía, se tuvo en cuenta, las definiciones que abarcan dicho concepto. En primer lugar, se entiende a la entropía como un grado de desorden de un sistema, concepto que ya casi actualmente se está descartando, y está en tela de juicio. El segundo concepto está asociado con la dispersión espontánea de energía o como medida de procesos irreversibles. Pero el concepto más claro de la entropía, es una magnitud que siempre va en aumento según avanza el tiempo, de ahí que se considere a la entropía como una flecha del tiempo [14].

Por esta razón, se busca una variable macroeconómica, que aumente al transcurrir el tiempo, considerando que no existan externalidades que puedan cambiar o alterar su comportamiento. Dicha variable macroeconómica, resulta ser el PIB Real, puesto que expresa el valor monetario de la producción de bienes y servicios de demanda final de un país durante un periodo de tiempo determinado.

Para la analogía planteada por Saslow, el Superávit Ψ (entendido como lo que queda), para un país, viene a ser la Balanza Comercial (Exportaciones menos las importaciones). La Balanza Comercial, es una parte del PIB, la cual se muestra en la siguiente expresión [04].

$$Y = C + I + GP + BC \quad (2.57)$$

donde Y es el PIB Real, C es el Consumo, I es la Inversión, GP es el Gasto Público y BC la Balanza Comercial.

Con esto, de acuerdo a la segunda Ley de la Termodinámica y la Segunda Ley de la Economía [05, 16], podemos definir un provisionalmente un Nivel de desarrollo Económico (T) dado por la relación siguiente:

$$T = BC / Y \quad (2.58)$$

La analogía para el precio, vendrá dado, por un indicador denominado Índice del Precio del Consumidor (IPC), que es una cantidad adimensional definida como:

$$IPC = \frac{\text{Precio de la canasta de bienes y servicios en el año actual}}{\text{Precio de la canasta en el año base (1950)}} \quad (2.59)$$

En analogía, la cantidad de bienes tendría que estar asociada a una magnitud que nos permita acercarnos a alguna variable macroeconómica, pero el giro en

esta búsqueda, se basa, en que esta nueva variable, lleva consigo magnitud de unidades monetarias (por ejemplo, S/.). Esta nueva variable, es definida como Cantidad de Bienes de Capital o simplemente Stock de Capital.

La función Utilidad definida por W. Saslow, no es la Función Utilidad Económica, puesto que ello conllevaría a medir algo que nos es medible (grado de satisfacción en una persona al comprar un bien). Peor de acuerdo a la definición que plantea en las ecuaciones (2. 01) y (2. 04), esta más bien representaría la función Utilidad Contable. Téngase en cuenta, que la utilidad para un contador es diferente a la Utilidad para un economista, puesto que este ultimo considera variables, como el costo de oportunidad, entre otras variables.

Tabla II.
Resumen de las variables de estado sugeridas entre los sistemas Termodinámicos Microeconómicos y Macroeconómicos

TERMODINAMICA		MICROECONOMIA		MACROECONOMIA	
Variables de Estado	Símbolo	Variables de Estado	Símbolo	Variables de Estado	Símbolo
Potencial Químico	μ	Precio del bien	p	IPC	p o IPC
Numero de Partículas	N	Numero de Bienes	N	Cantidad de Bienes de Capital	N
Potencial de Gibbs	G	Costo de los Bienes	C	Costo de Bienes de Capital	C
Entropía	S	Entropía	S	PIB Real	Y
Temperatura	T	Nivel de Desarrollo	T	Nivel de Desarrollo	T
Calor	Q	Superávit	Q	Balanza Comercial	BC
Presión	P	Valor del Dinero	λ	Tipo de Cambio	λ
Volumen	V	Importe de Dinero	M	Cantidad de Reservas Internacionales	M
Potencial de Helmholtz	F	Riqueza	W	Riqueza	W
Energía Interna	E	Utilidad	U	Utilidad	U

III. MATERIALES Y METODOS

1. MATERIALES

Para el desarrollo de nuestro trabajo, se necesitó emplear los siguientes materiales:

- Datos del Banco Central de Reservas del Perú desde el 2000 hasta el 2014 [02].
- Datos del Banco Mundial desde el 2 000 hasta el 2 014 [03].
- Una computadora:
 - o Sistema Operativo : Windows 7 Professional 64 bits (6.1, compilación 7600).
 - o Fabricante : Intel.
 - o Modelo : DG41RQ.

oProcesador : Intel(R), Pentium(R), Dual CPU E2200 @2.20 GHz (CPUs).
oMemoria : 1024 MB RAM.

□ OriginPro 8.0

2. MÉTODOS

Para el presente trabajo se siguió los siguientes pasos:

- 1° Se definió cuales serian nuestras variables para el estudio del modelo de W. Saslow en la macroeconomía.
- 2° Se busco las variables desde el 2000 al 2014 en las fuentes del Banco Central de Reservas del Perú.
- 3° Se agruparon los datos y se tabularon, en las tablas de datos del 01 al 06.
- 4° Con el software OriginPro 8.0 se tabularon, graficaron los datos de las Tablas de Datos 02, 04 y 05.
- 5° Los gráficos de las respectivas tablas de datos 02, 04 y 05, fueron analizados por el Programan OriginPro 8.0, a fin de obtener la relación funcional entre las variables dependientes e independientes.
- 6° Obtuvimos las variables Intensivas, de acuerdo a la ecuación (2. 24) encontrando así sus valores esperados como una extrapolación de la función con base a los datos de los años anteriores.
- 7° Analizamos sus respectivos márgenes de errores y errores relativos, para las variables intensivas en cada año.

V. DATOS

Para el desarrollo de este trabajo, realizamos la búsqueda de datos macroeconómicos en las páginas web del Banco Central de Reservas del Perú (BCRP) y el Banco Internacional de Finanzas (BIF).

Para el desarrollo de este trabajo, realizamos la búsqueda de datos macroeconómicos en las páginas web del Banco Central de Reservas del Perú (BCRP) y el Banco Internacional de Finanzas (BIF).

**Tabla de datos N°01:
PIB REAL (en S/.) por año, desde el 2000 al 2014**

<i>AÑO</i>	<i>PIB REAL (en S/.)</i>
1999	216376740630.51
2000	222206707348.69
2001	223579575750.62
2002	235772947128.98
2003	245592613752.99
2004	257769786233.07
2005	273971153886.79
2006	294597830810.43

<i>AÑO</i>	<i>PIB REAL (en S/.)</i>
2007	319692999000.00
2008	348923003675.68
2009	352584016817.64
2010	382379999601.52
2011	407051983125.54
2012	431272985907.18
2013	456159015710.42
2014	466879161966.41

El PIB Real, fueron obtenidos en valor en Dólares, los cuales se convirtieron a soles, por su respectivo tipo de cambio Anual Promedio

Fuente. Banco Central de Reservas del Perú ^[02] y Banco Mundial ^[23].

**Tabla de datos N°02:
Cantidad de Reservas Internacionales y
el Tipo de cambio Anual Promedio**

AÑO	Cantidad de Reservas Internacionales M (en Millones US\$)	Tipo de Cambio λ (\$ a S/.)	Riqueza Intangible (en Millones de S/.)
2000	8675.891766	3.49	30278.86
2001	8980.104805	3.508	31502.21
2002	9721.160041	3.518	34199.04
2003	10241.97144	3.479	35631.82
2004	12664.71033	3.414	43237.32
2005	14171.33963	3.297	46722
2006	17441.98698	3.275	57122.51
2007	27785.96817	3.129	86942.29
2008	31241.08863	2.926	91411.43
2009	33225.02354	3.012	100073.77
2010	44214.81091	2.83	125127.91
2011	48913.1301	2.75	134511.11
2012	64155.41432	2.64	169370.29
2013	65766.06791	2.7	177568.38
2014	62529.77426	2.84	177584.56

Fuente: Banco Central de Reservas del Perú ^[02] y Banco Mundial ^[03].

Con la ayuda de la Tabla de datos N°01, y con el apoyo de las siguientes relaciones para el Stock de Capital, podemos obtener la Cantidad de bienes de capital. Se sabe que la relación entre el PIB real anual y el Capital anual puede ser aproximado por un cociente que depende de cada país, para los países desarrollados y del primer mundo, esta razón es de 2.5, mientras que para los países en desarrollo, este cociente 3, lo cual en términos de ecuaciones, tenemos

$$Y/K = \begin{cases} 3.0 & \text{para pises desarrollados} \\ 2.5 & \text{para pises en desarrollo} \end{cases} \quad (3.01)$$

Donde Y es el PIB real por año, y K es el Capital. Los bienes de Capital, depende de los bienes de capital del año anterior, más la inversión del año anterior.

$$K_t + I_t = K_{t+1} \quad (3.02)$$

Por tanto, para el tiempo, $t+2$

$$K_{t+1} + I_{t+1} = K_{t+2} \quad (3.03)$$

Además, los bienes de Capital, cumplen un comportamiento conocido como mantisa, puesto que cada variable en un tiempo $t_n + 1$, depende de cada variable en un tiempo $t_n + 1$, depende de la variable t_n , $t_n - 1$, $t_n - 2$, ..., t_2 , t_1 [14]

Pero en la práctica, se tiene en cuenta, que los bienes de Capital, se van devaluando, por tanto, se introduce una depreciación δ que oscila entre 4% y 5% por año, es decir, que el bien de Capital, pierde entre un 4% a 5% de su precio. Podemos adicionar este término de la siguiente manera:

$$K_t = K_{t-1} + I_{t-1} - \delta K_{t-1} \quad (3.04)$$

Para nuestro caso, trabajaremos con una depreciación de 4.5%, lo que equivale a escribir la relación anterior como sigue

$$K_t = 0.955 * K_{t-1} + I_{t-1} \quad (3.05)$$

**Tabla de datos N° 03:
Stock de Capital**

AÑO	PIB (S/.)	Capital K_{t-1} (PIB Real/3)	Inversión (S/.)	Stock de Capital o Cantidad de Bienes
1999	216376740630.5	72125580210.1	39639595749.17	
2000	222206707348.6	74068902449.5	38554002199.00	108519524849.88
2001	223579575750.6	74526525250.2	36054214788.40	109289804038.33
2002	235772947128.9	78590982376.3	37671420740.78	107227046402.35
2003	245592613752.9	81864204584.3	40532101108.17	112725808910.17
2004	257769786233.0	85923262077.6	40252884162.74	118712416486.20
2005	273971153886.7	91323717962.2	41478808607.36	122309599446.94
2006	294597830810.4	98199276936.8	55882212307.04	128692959261.32
2007	319692999000.0	106564333000.0	71187751260.61	149662521781.69
2008	348923003675.6	116307667891.0	92611109966.17	172956689275.61
2009	352584016817.6	117528005605.0	71017773011.13	203684932802.93
2010	382379999601.5	127459999867.0	98584780381.87	183257018364.74
2011	407051983125.5	135683994375.0	111281736970.4	220309080255.02
2012	431272985907.1	143757661969.0	122592389559.3	240859951598.78
2013	456159015710.4	152053005236.0	135323078422.2	259880956739.75
2014	466879161966.4	155626387322.0	130626345633.2	280533698423.44

Los datos obtenidos sobre la Inversión, fueron obtenidos del BCRP. El PIB consta de la suma de las siguientes partes: Consumo, Inversión, Gasto Público, Exportaciones menos Importaciones.

Tabla de datos N° 04
Índice de Precios al Consumidor y Cantidad de Bienes de Capital

AÑO	Índice de Precios de los Bienes de Capital	Cantidad de Bienes (Millones de S/.)	Costos de Bienes de Capital (Millones de S/.)
2000	42.30075	108519.52	4590457.29
2001	44.14727	109289.80	4824846.49
2002	50.31346	107227.05	5394963.71
2003	60.06341	112715.81	6770095.84
2004	65.56378	118712.42	7783234.76
2005	68.6448	122309.60	8395917.99
2006	73.03732	128692.96	9399388.85
2007	78.96372	149662.52	11817909.46
2008	85.1821	172956.69	14732814.00
2009	91.19759	203684.93	18575574.99
2010	97.31748	183257.02	17834111.22
2011	105.183333	220309.08	23172843.35
2012	113.70083	240859.95	27385976.41
2013	123.45083	259880.96	32082519.81
2014	134.41	280533.70	37706534.41

Fuente: Banco Central de Reservas del Perú [02].

Tabla de datos N°05
Nivel de Desarrollo Económico, PIB Real y Balanza Comercial

AÑO	Nivel de Desarrollo Económico	PIB Real (en Millones de S/.)	Balanza Comercial
2000	0.06758439	222206.71	15017.71
2001	0.07897139	223579.58	17656.39
2002	0.08986413	235772.95	21187.53
2003	0.09507415	245592.61	23349.51
2004	0.11424496	257769.79	29448.90
2005	0.13160272	273971.15	36055.35
2006	0.10069192	294597.83	29663.62
2007	0.07120972	319693.00	22765.25
2008	0.03355723	348923.00	11708.89
2009	0.075092	352584.02	26476.24
2010	0.02021084	382380.00	7728.22
2011	0.00899701	407051.98	3662.25
2012	-0.0495371	431272.99	-2136.40
2013	-0.01578849	456159.02	-7202.06
2014	-0.01393421	466879.16	-6505.59

Fuente: Banco Central de Reservas [02] y El Modelo de Progreso Técnico Deliberado,

Perú 1950-2012^[24].

V. ANALISIS

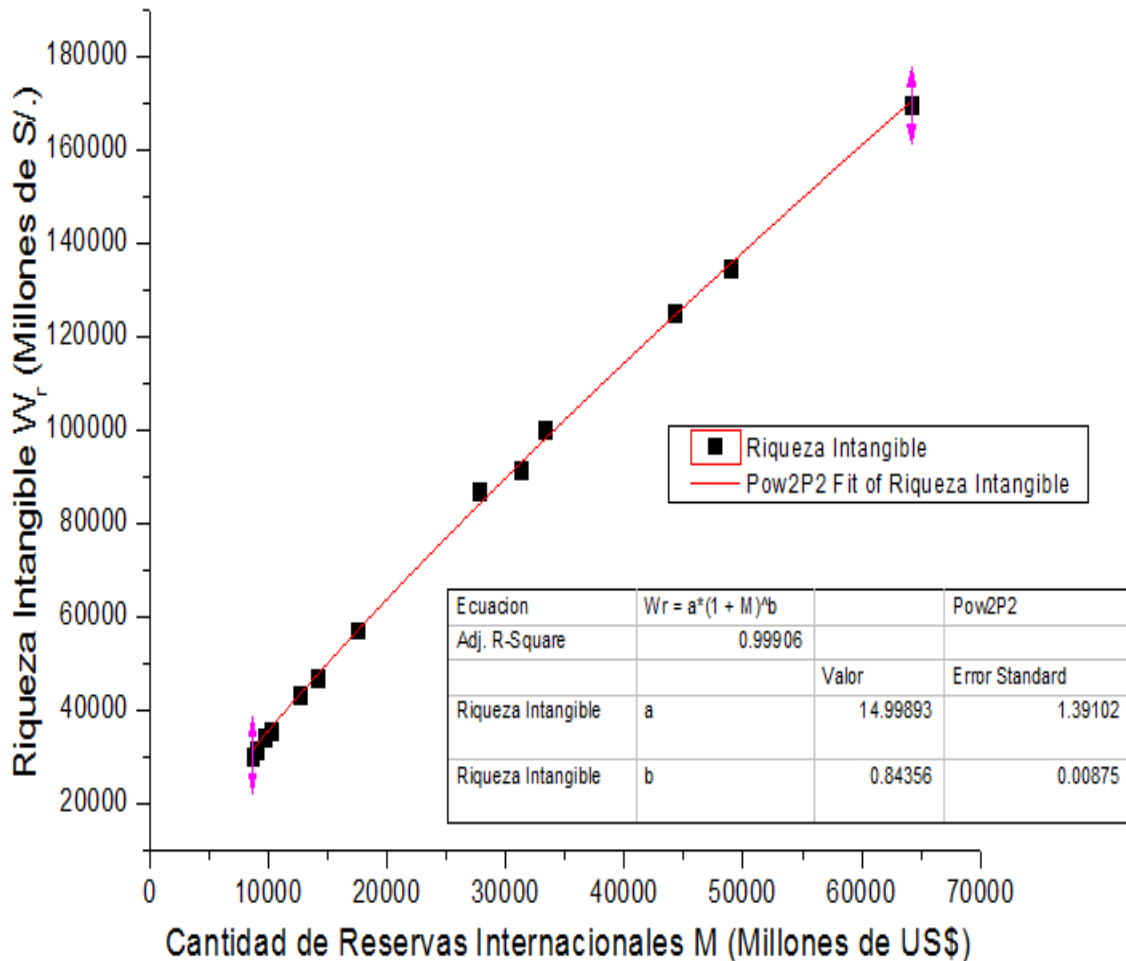
Dado que para verificar la Teoría de Saslow, en la Macroeconomía, necesitamos predecir con los datos recolectados por el Banco Central de Reservas del Perú y el Banco Mundial, los resultados de las variables Tipo de Cambio, Índice de Precios del Consumidor y Nivel de Desarrollo, para los años 2013, 2014 y 2015.

1. Análisis para el Tipo de Cambio

A. Tipo de Cambio Promedio para el 2013

Teniendo en cuenta la Tabla de Datos N°02, y con la ayuda del Programa Origin, graficamos las columnas de Cantidad de Reservas Internacionales vs. Riqueza Intangible desde el 2000 al 2012. Los resultados son mostrados en el Gráfico N°01.

GRAFICO N°01: Cantidad de Reservas Internacionales vs. Riqueza Intangible del 2000 al 2012



Para este caso, la Función de Riqueza Intangible Wr en función de la Cantidad de Reservas Internacionales M , está dada por la función:

$$Wr = (14.99893 \pm 1.39102) \cdot (1 + M)^{0.84356 \pm 0.00875} \text{ US\$} \quad (5.01)$$

El tipo de Cambio, esta dado por la ecuación:

$$\lambda = \partial U / \partial M = dWr / dM = a \cdot (1 + M)^{b-1} \quad (5.02)$$

Reemplazando los valores de a y b , y de M para el año 2013, donde $M = 65766.0679$.

$$\lambda_{2013} = 2.2307 \text{ S/./US\$} \quad (5.03)$$

Para calcular el error en el tipo de cambio para el 2013, aplicamos la siguiente relación:

$$\Delta \lambda = \partial \lambda / \partial a \Delta a + \partial \lambda / \partial b \Delta b + \partial \lambda / \partial M \Delta M \quad (5.04)$$

$$\Delta \lambda = b \cdot (1 + M)^{b-1} \Delta a + a \cdot (1 + M)^{b-1} \cdot \{1 + b \cdot \ln(1 + M)\} \Delta b + (b - 1) (1 + M)^{b-2} \Delta M \quad (5.05)$$

Reemplazando los valores de a , b , M , Δa , Δb y ΔM (en economía, un error máximo aceptable es del 5% del valor esperado [16]; lo que equivale a 0.05 de M_{2013})

$$\Delta\lambda_{2013} = \pm 0.46401 \text{ S/.US\$} \quad (5.06)$$

Para el 2013, el tipo de cambio según la Teoría de Wayne Saslow fue:

$$\lambda_{2013} = (2.2307 \pm 0.4640) \text{ S/.US\$} \quad (5.07)$$

Según los datos recogidos del BCRP, en el 2013 e tipo de cambio promedio fue de:

$$\lambda_{2013} = 2.700 \text{ S/.US\$} \quad (5.08)$$

El error Relativo, para este caso, es

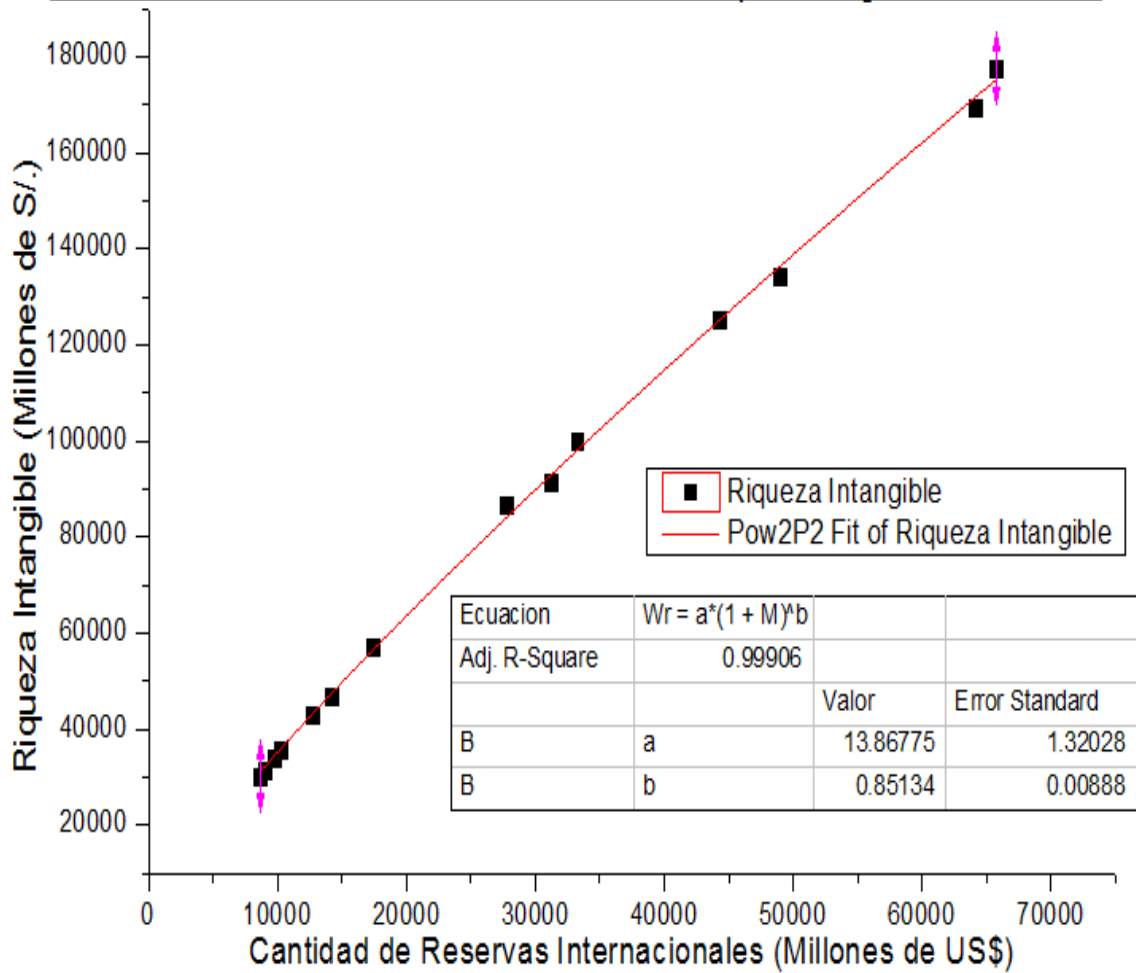
$$\varepsilon_{relativo} \lambda_{2013} = (|2.700 - 2.2307| / 2.7) \cdot 100\%$$

$$\varepsilon_{relativo} \lambda_{2013} = 17.38\% \quad (5.09)$$

B. Tipo de Cambio Promedio para el 2014

Teniendo en cuenta la Tabla de Datos N°02, y con la ayuda del Programa Origin, graficamos las columnas de Cantidad de Reservas Internacionales vs. Riqueza Intangible desde el 2000 al 2013. Los resultados son mostrados en el Grafico N°02.

GRAFICO N°02: Cantidad de Reservas Internacionales vs. Riqueza Intangible del 2000 al 2013



Para este caso, la Función de Riqueza Intangible Wr en función de la Cantidad de Reservas Internacionales M , esta dada por la función:

$$Wr = (13.86775 \pm 1.32028) \cdot (1 + M)^{0.85134 \pm 0.00888} \text{ US\$} \quad (5.10)$$

El tipo de Cambio, esta dado por la ecuación (5.02). Reemplazando los valores de a y b , y de M para el año 2014, donde $M = 62529.77426$.

$$\lambda_{2014} = 2.2862 \text{ S/./US\$} \quad (5.11)$$

Para calcular el error en el tipo de cambio para el 2014, Tenemos en cuenta las ecuaciones (5.04) como punto de partida, pero reemplazamos nuestros valores de a , b , M , Δa , Δb y ΔM en la ecuación (5.05) (en economía, un error máximo es del 5% del valor; lo que equivale a 0.05 de M_{2014})

$$\Delta \lambda_{2014} = \pm 0.4827 \text{ S/./US\$} \quad (5.12)$$

Para el 2014, el tipo de cambio según la Teoría de Wayne Saslow fue:

$$\lambda_{2014;ow}=(2.2862\pm 0.4827) \text{ S./US\$} \quad (5.13)$$

Según los datos recogidos del BCRP, en el 2013 e tipo de cambio promedio fue de:

$$\lambda_{2014}=2.700 \text{ S./US\$} \quad (5.14)$$

El error relativo, para este caso, es

$$\begin{aligned} \varepsilon_{relativo} \lambda_{2013} &= (|2.84-2.2862| / 2.84) \cdot 100\% \\ \varepsilon_{relativo} \lambda_{2014} &= 19.5\% \text{ S./US\$} \end{aligned} \quad (5.15)$$

Podemos Resumir nuestros resultados del Índice de Precios del Consumidor de los años 2013 y 2014 en la siguiente tabla.

Tabla de Resultados 01
Tipo de Cambio de los años 2013 y 2014

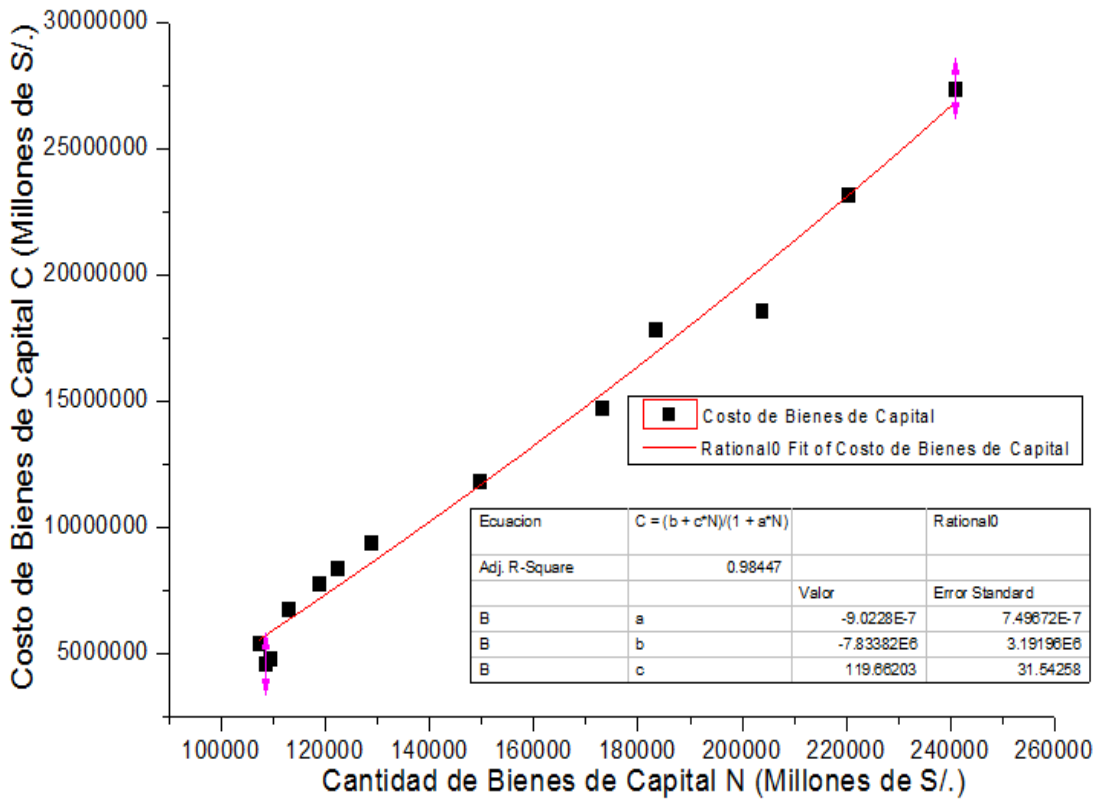
	2013		2014	
W_r (Millones de S/.)	177568.38		177584.56	
Función W_r	$(14.9983 \pm 1.39102) \cdot (1+M)^{0.84356 \pm 0.00875}$		$(13.86775 \pm 1.32028) \cdot (1+M)^{0.85134 \pm 0.0088}$	
Adj. R - Square	0.99906		0.99906	
Cantidad de Reservas (Millones de US\$)	65766.067911		62529.774258	
Tipo de Cambio(S. / US\$)	W. Saslow	BCRP	W. Saslow	BCRP
	2.2307 ± 0.4640	2.7	2.2862 ± 0.4827	2.84
Error Relativo	17.38%		19.5%	

2. Análisis Para el Índice de Precios del Consumidor

A. Índice de Precios del Consumidor del 2013.

Teniendo en cuenta la Tabla de Datos N°03, y con la ayuda del Programa Origin, graficamos las columnas de Cantidad de Bienes de Capital vs. Costo de Bienes de Capital desde el 2000 al 2012. Los resultados son mostrados en el Grafico N°03

GRAFICO N°03: Cantidad de Bienes de Capital vs. Costo de Bienes de Capital del 2000 al 2012



Para este caso, el Costo de Bienes de Capital C en función de la Cantidad de Bienes de Capital N, esta dada por la función:

$$C = \frac{[(-7.83382 \times 10^6 \pm 3.19196 \times 10^6) + (119.66203 \pm 31.154258) \cdot N]}{[1 + (-9.0228 \times 10^{-7} \pm 7.49672 \times 10^{-7}) \cdot N]} \quad (5.15)$$

El Índice de Precios del Consumidor, esta dado por la ecuación:

$$p = \partial U / \partial N = dC / dN = (c - ab) / (1 + aN)^2 \quad (5.16)$$

Reemplazando los valores de a, b, c y de N para el año 2013, donde N = 259880.96.

$$p_{2013} = 192.13472 \quad (5.17)$$

Para calcular el error en el Índice de Precios del Consumidor para el 2013, aplicamos la siguiente relación:

$$\Delta p = \partial p / \partial a \Delta a + \partial p / \partial b \Delta b + \partial p / \partial c \Delta c + \partial p / \partial N \Delta N \quad (5.18)$$

$$\Delta p = \frac{[-b - 2Nc - abN]}{(1 + aN)^3} \Delta a + \left[-\frac{a}{(1 + aN)^2} \right] \Delta b + \frac{1}{(1 + aN)^2} \Delta c + \left[\frac{-2a(c - ab)}{(1 + aN)^3} \right] \Delta N \quad (5.19)$$

Reemplazando los valores de a, b, c, N, Δa , Δb , Δc y ΔN (en economía, un error máximo es del 5% del valor; lo que equivale a 0.05 de N_{2013})

$$\Delta p_{2013} = \pm 158.5414 \quad (5.20)$$

Para el 2013, el Índice de Precios del Consumidor según la Teoría de Wayne Saslow fue:

$$p_{2013;ow} = (192.13472 \pm 158.5414) \quad (5.21)$$

Según los datos recogidos del BCRP, en el 2013 el Índice de Precios del Consumidor fue de:

$$p_{2013} = 123.42083 \quad (5.22)$$

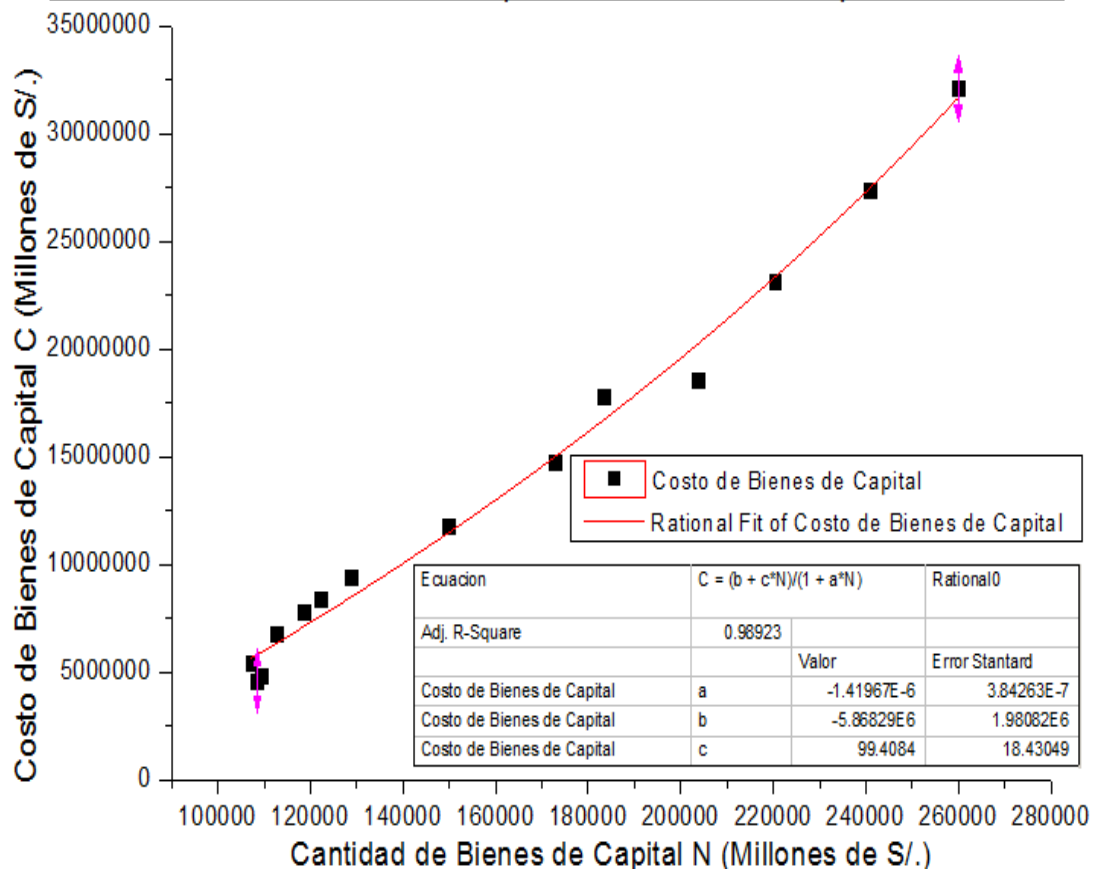
El error Relativo, para este caso, es

$$\begin{aligned} \varepsilon_{relativo} \lambda_{2013} &= [(|170.4041 - 123.45083|) / 123.45083] \cdot 100\% \\ \varepsilon_{relativo} \lambda_{2013} &= 38.03\% \end{aligned} \quad (5.23)$$

B. Índice de Precios del Consumidor del 2014

Teniendo en cuenta la Tabla de Datos N°03, y con la ayuda del Programa Origin, graficamos las columnas de Cantidad de Bienes de Capital vs. Costo de Bienes de Capital desde el 2000 al 2013. Los resultados son mostrados en el Grafico N°04.

GRAFICO N°04: Cantidad de Bienes de Capital vs. Costo de Bienes de Capital del 2000 al 2013



Para este caso, el Costo de Bienes de Capital C en función de la Cantidad de Bienes de Capital N, esta dada por la función:

$$C = \frac{[(-7.83382 \times 10^6 \pm 3.19196 \times 10^6) + (119.66203 \pm 31.154258) \cdot N]}{[1 + (-9.0228 \times 10^{-7} \pm 7.49672 \times 10^{-7}) \cdot N]} \quad (5.24)$$

El Índice de Precios al Consumidor, esta dado por la ecuación (5. 16). Reemplazando los valores de a y b, y de N para el año 2014, donde N = 259880.96.

$$p_{2014} = 251.5842 \quad (5.25)$$

Para calcular el error en el tipo de cambio para el 2014, Tenemos en cuenta las ecuaciones (5.18) como punto de partida, pero reemplazamos nuestros valores de a, b, M, Δa, Δb y ΔM en la ecuación (5. 19) (tomamos como error máximo es del 5% de N₂₀₁₄, lo que equivale a 0.05 de N₂₀₁₄)

$$\Delta p_{2014} = \pm 150.9737 \quad (5.26)$$

Para el 2014, el Índice de Precios al Consumidor según la Teoría de Wayne Saslow fue:

$$p_{2014;ow}=(251.5842 \pm 150.9737) \quad (5.27)$$

Según los datos recogidos del BCRP, en el 2014 el tipo de cambio promedio fue de:

$$p_{2014}=123.42083 \quad (5.28)$$

El error Relativo, para este caso, es

$$\varepsilon_{relativo} p_{2014} = (|251.58-134.41|/134.41) \cdot 100\%$$

$$\varepsilon_{relativo} p_{2014} = 81.17\% \quad (5.29)$$

Podemos Resumir nuestros resultados del Índice de Precios del Consumidor de los años 2013 y 2014 en la siguiente tabla.

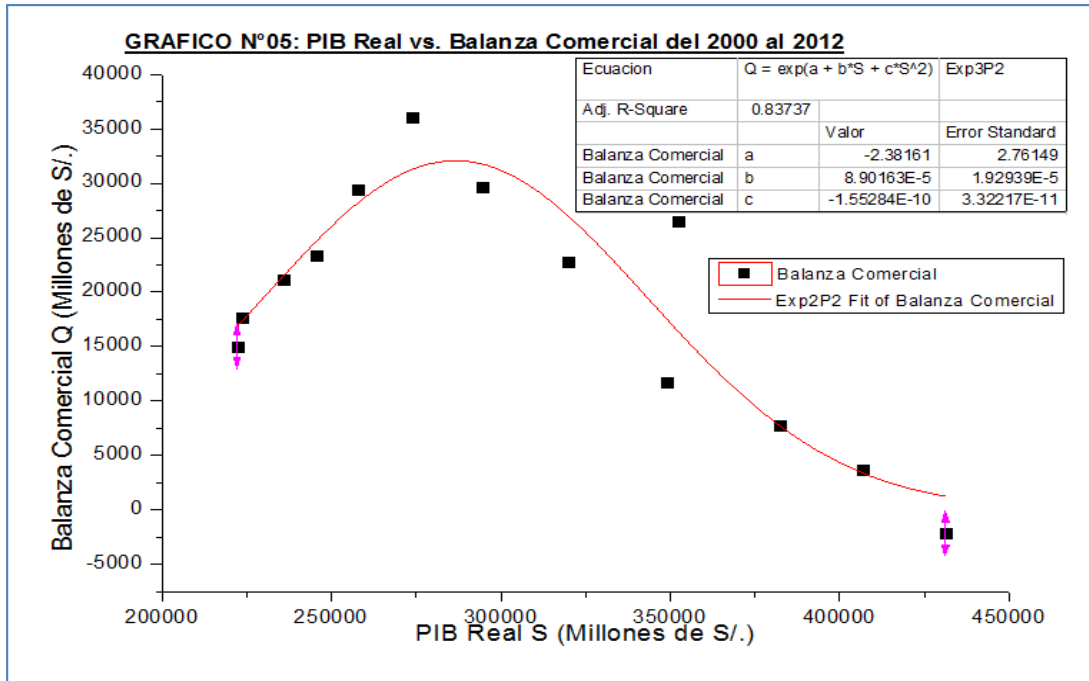
**Tabla de Resultados 02:
Índice de Precios al Consumidor
de los años 2013 y 2014**

	2013		2014	
C (Millones de S/.)	32082519.81		37706534.41	
Adj. R - Square	0.98447		0.98923	
Cantidad de Bienes de Capital (Millones de US\$)	259880.96		280533.70	
Índice de Precios al Consumidor	W. Saslow	BCRP	W. Saslow	BCRP
	192.1347 ± 170.4041	123.45083	251.5842±150.9737	134.41
Error Relativo	55.63%		81.17%	

3. Análisis para el Nivel de Desarrollo Económico

A. Nivel de Desarrollo Económico del 2013

Teniendo en cuenta la Tabla de Datos N°05, y con la ayuda del Programa Origin, graficamos las columnas de PIB Real vs. Balanza Comercial desde el 2000 al 2012. Los resultados son mostrados en el Grafico N°05



Para este caso, la Balanza Comercial Q en función del PIB Real S, esta dada por la función:

$$Q = e^{(-2.38161 \pm 2.76149) + (8.90163 \pm 1.92969) \cdot 10^{-5} \cdot S + (-1.55284 \pm 0.332217) \cdot 10^{-10} \cdot S^2} \quad (5.30)$$

La Balanza Comercial Q, esta dado por la ecuación:

$$T = \partial U / \partial S = dQ / dS = (b + 2cS) e^{a + bS + cS^2} \quad (5.31)$$

Reemplazando los valores de a, b, c y de S para el año 2013, donde S = -7202.06 (Millones de S/.)

$$T_{2013} = -0.0195 \quad (5.32)$$

Para calcular el error en el Nivel de Desarrollo Económico para el 2013, aplicamos la siguiente relación:

$$\Delta T = \partial T / \partial a \Delta a + \partial T / \partial b \Delta b + \partial T / \partial c \Delta c + \partial T / \partial S \Delta S \quad (5.33)$$

$$\begin{aligned} \Delta T = & \{(b + 2cS) e^{a + bS + cS^2}\} \Delta a \\ & + \{(1 + (b + 2cS)S) e^{a + bS + cS^2}\} \Delta b \\ & + \{(2S + (b + cS)S^2) e^{a + bS + cS^2}\} \Delta c \\ & + \{(2c + (b + 2cS)2) e^{a + bS + cS^2}\} \Delta S \end{aligned} \quad (5.34)$$

Reemplazando los valores de a, b, c, S, Δa, Δb, Δc y ΔS (en economía, un error máximo es del 5% del valor; lo que equivale a 0.05 de S2013)

$$\Delta T_{2013} = \pm 0.362 \tag{5.35}$$

Para el 2013, el Nivel de Desarrollo Económico según la Teoría de Wayne Saslow fue:

$$T_{2013;low} = (-0.0195 \pm 0.362) \tag{5.36}$$

Según los datos recogidos del BCRP, en el 2013 el Nivel de Desarrollo Económico fue de:

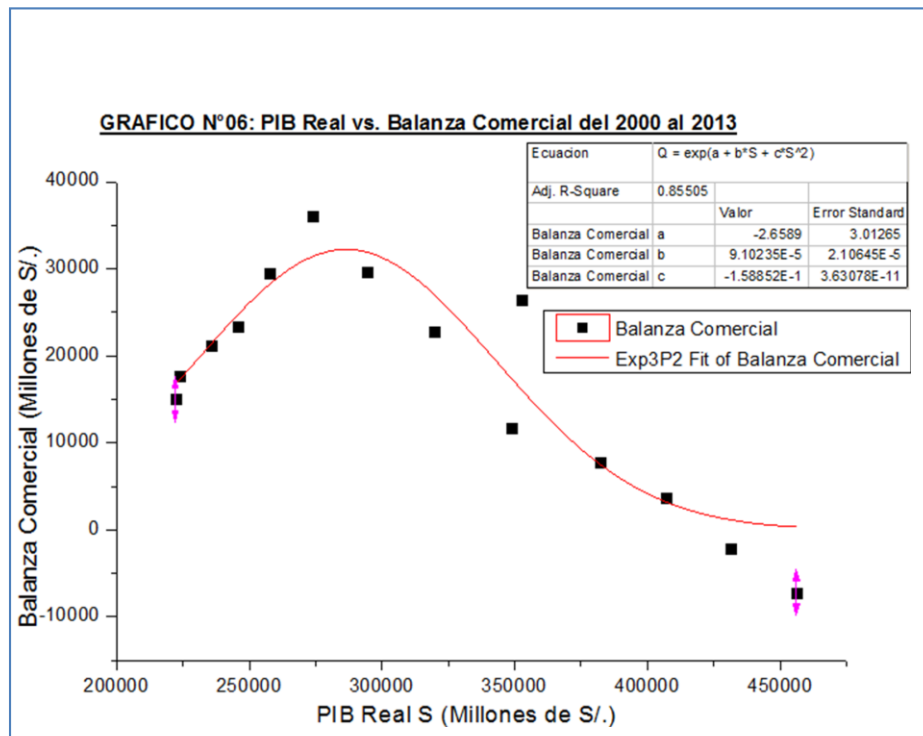
$$T_{2013} = -0.0158 \tag{5.37}$$

El error Relativo, para este caso, es

$$\begin{aligned} \varepsilon_{relativo} p_{2013} &= |-0.0195 - (-0.0158) / -0.01578| \cdot 100\% \\ \varepsilon_{relativo} T_{2013} &= 23.41\% \end{aligned} \tag{5.38}$$

B. Nivel de Desarrollo Económico del 2014

Teniendo en cuenta la Tabla de Datos N°05, y con la ayuda del Programa Origin, graficamos las columnas de PIB Real vs. Balanza Comercial desde el 2000 al 2012. Los resultados son mostrados en el Grafico N°06



Para este caso, la Balanza Comercial Q en función de la PIB Real S , está dada por la función:

$$Q=e^{(-2.6589\pm 3.01265)+(9.10235\pm 2.10645)\cdot 10^{-5}\cdot S+(-1.58852\pm 0.36078)\cdot S^2} \quad (5.39)$$

El Nivel de Desarrollo Económico T , esta dado por la ecuación (5. 31). Reemplazando los valores de a y b , y de S para el año 2014, donde $S= -6505.59$ (Millones de S/.)

$$S_{2013} = -0.0105 \quad (5.40)$$

Para calcular el error en el tipo de cambio para el 2 014, Tenemos en cuenta las ecuaciones (5.33) como punto de partida, pero reemplazamos nuestros valores de a , b , c , S , Δa , Δb , Δc y ΔS en la ecuación (5. 34) (tomamos como error máximo es del 5% de S_{2014} , lo que equivale a 0.05 de S_{2014})

$$\Delta T_{2013} = \pm 0.2096 \quad (5.41)$$

Para el 2 014, el Nivel de Desarrollo Económico según la Teoría de Wayne Saslow fue:

$$T_{2014;low} = (-0.0105\pm 0.209) \quad (5.42)$$

Según los datos recogidos del BCRP, en el 2014 el Nivel de Desarrollo Económico fue de:

$$T_{2014} = -0.0139 \quad (5.43)$$

El error Relativo, para este caso, es

$$\begin{aligned} \varepsilon_{relativo} p_{2013} &= |-0.0105 - (-0.0139) / -0.0139| \cdot 100\% \\ \varepsilon_{relativo} T_{2013} &= 24.46\% \end{aligned} \quad (5.44)$$

Podemos Resumir nuestros resultados del Nivel de Desarrollo Económico de los años 2013 y 2014 en la siguiente tablas

Tabla de Resultados 03

Nivel de desarrollo Económico de los años 2013 y 2014

	2013		2014	
Q (Millones de S/.)	-7202.06		-6505.59	
Adj. R - Square	0.83737		0.85505	
PIB Real (Millones de US\$)	456159.015		466879.16	
Tipo de Cambio(S./US\$)	W. Saslow	BCRP	W. Saslow	BCRP
	-0.0195+0.362	-0.158	-0.0105 ± 0.209	-0.0139
Error Relativo	17.38%		24.46%	

VI. DISCUSIÓN

Una de las muchas suposiciones fundamentales de la teoría de Saslow es la existencia de una función Utilidad, que se supone que es medible (mensurable), pero lo que Saslow no tuvo en cuenta fue que existen dos tipos de funciones utilidad, una es la función utilidad económica, que es la que en principio el asume, pero que en realidad no es mensurable, porque esta asociada a ella aspectos psicológicos [18], y como es de suponer, es difícil medir algo que esta asociado a aspectos psicológicos. La otra función utilidad, es la que habitualmente utilizan los contadores, esta función si es cuantificable, y difiere mucho de la función utilidad económica.

Una consideración, en base a un sencillo análisis a la tabla I, vemos que por analogía, la riqueza es el negativo del potencial de Helmholtz según Saslow. El principio de Mínimo Potencial de Helmholtz, establece que: "El valor de equilibrio de cualquier parámetro interno sin ligaduras de un sistema que se halla en contacto diatérmico con una fuente de calor, minimiza el potencial de Helmholtz a temperatura constante (igual a la de la fuente de calor)". Es decir, en todo proceso, siempre se producirá el mínimo de Potencial de Helmholtz. Principio que se cumple perfectamente en la Naturaleza.

Si antepone el negativo a ese mínimo, lo que haremos será maximizar dicha función. Lo que Saslow, pretendía en su analogía, era que la riqueza se maximice. Si quitamos ese negativo, lo que tendremos será que la riqueza también tendrá que ser mínima. También consideramos, que la riqueza esta constituida básicamente de dos partes: una intangible (generada por ejemplo: en las cuentas bancarias) y otra tangible (generada por la cantidad de bienes que se posee).

Hasta hace unos años, muchos economistas creyeron, que la riqueza, por ejemplo en un país es una cantidad que siempre va en aumento. Los

economistas verdes o también llamados Economistas Ecológicos, han dado un giro radical a este tipo de pensar, al afirmar que la riqueza de un país es constante, puesto que también se considera la riqueza natural y humana [13]. En esta condición, toda la riqueza constituida por la parte de bienes tangibles, son obtenidos mediante un proceso de transformación de los recursos naturales. Por tanto, consideramos que lo más conveniente debería ser la minimización de la extracción de los recursos naturales, tal como establecería la analogía entre el potencial de Helmholtz y la riqueza.

A pesar que hacer supuestos que en principio desconciertan a cualquier economista, esta formulación desarrollada por W. Saslow, encuentra que las variables macroscópicas que definen un estado termodinámico, tienen sus respectivos análogos tanto en la Microeconomía como en la Macroeconomía. Saslow obtiene cosas muy interesantes en su teoría, llevado por analogía la economía desde el punto de vista de la termodinámica. Muestra claramente las relaciones de Slutsky obtenidas del mismo modo que se obtienen las relaciones de Maxwell. Obtiene una relación de Gibbs – Duhem económica, que hasta esas fechas no era conocida. Además, deduce que la relación entre valor de intercambio y valor en uso es una constante, idea propuesta por la teoría marginalista.

Cabe resaltar, que los valores obtenidos en nuestro análisis de los datos recopilados por diversas fuentes, poseen un gran margen de error y de error relativo. Consideramos que esto se debe en gran medida al supuesto elemental de la teoría de Saslow de considerar que los sistemas económicos se encuentran en estado de equilibrio. Con esta teoría se muestra claramente el fracaso de aplicar teorías que se basan en equilibrio a un sistema tan dinámico como es el de la economía. Los sistemas dinámicos, su error de manera exponencial al transcurrir el tiempo [22].

Además, la caída en la Balanza comercial, nos muestra un claro ejemplo de lo inestable de un sistema económico, en los últimos años, los valores de la Balanza Comercial, resultaron siendo negativos, puesto que últimamente mas se importa que exporta. Si se hiciera una analogía termodinámica, es como si a un sistema termodinámico se le hubiese adicionado calor.

Si bien es cierto, que W. Saslow desarrollo de manera general, una expresión basada en el análisis de la termometría, para poder desarrollar una escala termométrica en la economía, surge un problema al considerar que se requiere un valor de alguna propiedad termométrica para el cual se considere una temperatura aceptable. Por ejemplo; Alemania ya desarrolla este indicador, y se considera que la temperatura estable para un sistema económico es de 36,5 °C y de 41 °C cuando la economía ya esta pasando a ser insostenible [09]. Además, para poder tener una escala termométrica, el sistema debe llegar a un equilibrio lo cual, como señalamos anteriormente no es tan sencillo de desarrollar esto, puesto que los sistemas económicos son sistemas dinámicos.

VII. CONCLUSIONES

De las tablas I y II, podemos observar que existen si es posible obtener por analogía las relaciones entre las variables termodinámicas y económicas, así como también se obtuvo las relaciones de Slutsky (ecuaciones (2. 41), (2. 42), (2. 43)) por analogía con las relaciones de Maxwell, una relación de Gibbs – Duhem (ecuación (2. 39)), la teoría de Saslow, permitió matematizar la propuesta de los “marginalista” (ecuación (2. 28)), así como también encontrar expresiones que puedan ser usadas para definir escalas termométricas en economía, como un indicador del estado de la economía.

A pesar de todos estos bellos logros alcanzados por la teoría de W. Saslow, no es aplicable, por su consideración elemental de que los sistemas económicos se encuentran en equilibrio. Condición que no es cierta en la realidad. Esta teoría, no podría ser aplicable a los procesos termodinámicos, ya que en procesos termodinámicos se considera los procesos cuasiestáticos.

Además, debemos recordar, que en la sociedad, se producen los factores externos, llámese, crisis, catástrofes, guerras; que pueden dar un giro completo a la economía de un país, en estas condiciones, la teoría de Saslow, no es aplicable, puesto que las funciones (Costo de bienes de Capital Cantidad de Riqueza Intangible, Balanza Comercial) en función de sus variables independientes se van dispersando, lo cual va incrementando el error al transcurrir el tiempo.

Proponemos un estudio de esta teoría, pero llevada a cabo desde el punto de vista de la Termodinámica de No Equilibrio, con la esperanza de poder tener resultados mas próximos a la realidad. Incluso, se podría desarrollar una teoría desde un enfoque Mecánico Estadístico, con la finalidad de poder hacer correcciones, a la teoría de Saslow, bajo consideraciones microeconómicas. Se debe tener presente, que en la actualidad gran parte del análisis macroeconómico, se centra en el análisis microeconómico.

Concluimos finalmente, que la Teoría de W. Saslow de la Analogía entre la Termodinámica y la Economía, no es aplicable, por obtener resultados con errores considerables, y por considerar los sistemas económicos como sistemas de equilibrio.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [01] Baierlein Ralph. The Elusive Chemical Potential. American Journal Physic. 69(4) Abril 2001.
- [02] Banco Central de Reservas del Perú. Cuadros Históricos Anuales. <http://www.bcrp.gob.pe/estadisticas/cuadros-anuales-historicos.html>. Consultado el día 08 de Junio del 2015
- [03] Banco Mundial. Perú. <http://datos.bancomundial.org/pais/peru>. Consultado el 15 de Junio del 2015.
- [04] Blanchard Olivier et al. Macroeconomía. Pearson Educación. Quinta Edición. Madrid – España. 2012.
- [05] Callen H. Termodinámica: Introducción a las teorías físicas de la

- termostática del equilibrio y de la termodinámica irreversible. Editorial AC. Madrid-España, 1986.
- [06] Caridad M. Entropía y Procesos Productivos: Una aplicación a la economía ecuatoriana. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito – Ecuador. 1998.
- [07] Chakraborty, Chakrabarty Econophysics and Sociophysics Trends and Perspectives. Editorial Wiley VCH. Mörlenbach, República Federal de Alemania. 2006.
- [08] Erlichson H. Internal Energy in the first law of thermodynamics. American Journal Physic. 52 (7) Julio 1984.
- [09] Eyescon. Temperatura Económica de Alemania. <http://www.eyescon.com/ComentariosDetalle.aspx?cc=16>. Consultado el día 14 julio del 2015.
- [10] Georgescu R. The Entropy Law and the Economic Process. Editorial Harvard University Press. Cambridge, Reino Unido. 1971.
- [11] Greiner W. Thermodynamics and Statistical Mechanics. Editorial Springer. Segunda Edición. Estados Unidos. 1997.
- [12] Landau L., Lifshitz E. Física Estadística. Editorial Reverte S.A. Madrid – España. 1964.
- [13] Mankiw G. Principios de Economía. Editorial Cengage Learning. Sexta Edición. México D. F. – México, 2012.
- [14] Mantega R. Introduction to Econophysics. Cambridge University Press. Segunda Edición. Cambridge –Reino Unido. 2008
- [15] Marx K. Manuscritos Económicos Filosóficos. 1964.
- [16] Novales Cinca A. Econometría. Segunda Edición. Editorial Mc Graw-Hill. Madrid. 1193
- [17] Pérez Izquierdo A. Max Planck La teoría Cuántica: La revolución de lo muy pequeño. Grandes Ideas de la Ciencia. Editorial RBA. Navarra, España. 2012.
- [18] Pyndick R., Rubinfeld D. Microeconomía. Pearson Prentice Hall. Séptima Edición. España, 2009.
- [19] Richmond P. et al. Econophysics & Physical Economics. Editorial Oxford University Press. Oxford, Reino Unido. 2013.
- [20] Saslow W. An Economic analogy to Thermodynamics. American Journal Physics. 67 (12). Diciembre 1999.
- [21] Tsirlin et al. Thermodynamic Model of Capital Extraction in Economic Systems. Interdisciplinary Description of Complex Systems
- [22] Weber H. y Arfken G. Física Matemática: Métodos Matemáticos Para Engenharia e Física. Editorial Elsevier. Rio de Janeiro, Brasil. 2005.
- [23] Wikipedia. Paul Samuelson. https://es.wikipedia.org/wiki/Paul_Samuelson. 8 de Junio del 2015.
- [24] Zegarra Pinto J. El Modelo de Progreso Técnico Deliberado, Perú 1950-2012