IV. Metodología

IV.1 Series de tiempo

La información de las series de tiempo se obtiene con la observación a través de diferentes periodos de tiempo de las variables de interés (véase Salas, 1990). Las series de tiempo son diarias, semanales, quincenales, mensuales, trimestrales, semestrales y anuales, siendo las de uso más frecuente. Este mismo autor señala que las series de tiempo tienen la característica de estar correlacionadas debido a la evolución paralela que presentan.

Los modelos de series de tiempo proyectan la variable objeto de estudio en base a su pasado histórico y sus propios componentes (véase Morales, 2001).

Un proceso de serie de tiempo es estacionario cuando sus distribuciones probabilísticas se mantienen estables con el paso del tiempo sin importar cuantos periodos sean añadidos (véase Wooldridge, 2001). Por otro lado, un proceso no estacionario es aquel que no tiene distribuciones probabilísticas estables.

Las series de tiempo por su propia naturaleza presentan tres problemas fundamentales según Gujarati (2010):

- La posible estacionariedad de una variable a través del tiempo
- La autocorrelación que surge cuando las series son no estacionarias
- Tener una regresión espuria o disparatada a pesar de tener una R^2 muy elevada

IV.2 Modelo ARDL

Un modelo es autorregresivo en el sentido de que la variable dependiente, sea y_t, es explicada por valores rezagados de la misma variable ($y_{t-1}, y_{t-2}, y_{t-3} \dots y_{t-n}$). Además de esta parte autorregresiva, también posee otras variables explicativas independientes en su valor corriente como rezagado sean ($x_t, x_{t-1}, x_{t-2}, x_{t-3} \dots x_{t-n}$) variables, donde n>0.Un modelo ARDL (modelo autorregresivo con rezagos distribuidos) siguiendo la notación de (Davidson y MacKinnon, 2004) presenta la siguiente forma:

(1) $y_t = \beta_0 + \beta_1 y_{t-1} + \gamma_0 x_t + \gamma_1 x_{t-1} + u_t$

Con la presencia de la variable dependiente rezagada como variable explicativa surgen distintos problemas como menciona (Gujarati, 2010), principalmente la correlación serial, heteroscedasticidad y multicolinealidad.

Al haber correlación y heteroscedasticidad los estimadores no serán eficientes y es posible que por eso las pruebas t y F no sean concluyentes. Mientras que la multicolinealidad se da cuando existe una relación lineal entre las variables independientes, es decir x1 explica a x2 y a su vez a y, y x2 sigue el mismo proceso. Este problema se da por varias razones, entre ellos el ser datos provenientes de series de tiempo, ya que las regresoras de un modelo poseen una tendencia en común (véase Gujarati, 2010).

Con la ecuación anterior podemos obtener los coeficientes de largo plazo con el supuesto de que $t \to \infty$ convirtiendo a $y_t \to y^0$ y a $x_t \to x^0$ a sus valores en estado estacionario o de largo plazo, suponiendo que $|\beta_1| < 1$, ya que de no ser así y_t tendría una trayectoria explosiva. Siguiendo a (Davidson y MacKinnon, 2004), con la ecuación anterior podemos sustituir los valores de contemporáneos y rezagados de (1) por sus valores de equilibrio de largo plazo de la siguiente manera:

(2) $y^0 = \beta_0 + \beta_1 y^0 + \gamma_0 x^0 + \gamma_1 x^0$

Manipulando algebraicamente la ecuación (2) obtenemos a nuestra ecuación de largo plazo con los siguientes coeficientes:

(3) $y^0 = \frac{\beta_0}{1-\beta_1} + \lambda x^0$

La ecuación (3) es la forma más simplificada del modelo donde $\lambda = \frac{\gamma_0 + \gamma_1}{1-\beta_1}$ para simplificar la expresión algebraica. Davidson y MacKinnon (2004), señalan que esta especificación incluye solo un rezago para y y x, sin embargo para datos trimestrales, lo cual es nuestro caso los rezagos sugeridos son normalmente 4, que es lo que utilizamos a la hora de estimar las ecuaciones.

IV.3 Modelo de corrección de error

Kennedy (2003) menciona que al manipular la ecuación (1) se puede obtener una ecuación que sea más sencilla de interpretar, generando el término de corrección de error, el cual refleja el error actual en el logro del equilibrio de largo plazo (véase también Enders, 2010).

Para esto debemos de restar a ambos lados el término y_{t-1} y sumar y restar del lado derecho el término $\gamma_0 x_{t-1}$, quedando como resultado final:

$$(4)\ \Delta y_t = \beta_0 + \gamma_0 \Delta x_t + (\beta_1 - 1)[y_{t-1} - \lambda x_{t-1}] + u_t$$

La ecuación (4) es la representación de (1) simplemente expresada en corrección de error. La diferencia entre $y_{t-1} - \lambda x_{t-1}$ mide el grado en el cual la relación de largo plazo no se cumple, cuando y_t se mueve un periodo, (véase Davidson y MacKinnon, 2004). Para Gujarati (2010), si $e_{t-1} = y_{t-1} - \lambda x_{t-1}$, cuando el término Δx_t=0 y $e_{t-1}>0$, entonces y_t estará por arriba de su valor de equilibrio y se esperaría que $(\beta_1 - 1)e_{t-1}<0$, para así poder regresar al equilibrio. De la misma manera, si $e_{t-1}<0$ entonces y_t estaría por debajo de su valor de equilibrio y se esperaría que $|\beta_1\text{-}1|\, e_{t-1}>0$, para poder retornar al equilibrio. Entonces, $\sigma = |\beta_1\text{-}1|$ determinará la velocidad con la cual y_t retorna a su equilibrio.

Una de las ventajas es que el modelo de corrección de error puede ser empleado para ordenes mayores a ARDL (p, q), pero en el ejemplo anterior p=1 y q=1 para fines de simplificación. Para poder ver como se estima un modelo con ARDL en forma de corrección de error con p y q rezagos (véase Asteriou y Hall., 2007).

Para Asteriou y Hall (2007) existen ventajas esenciales de emplear el modelo de corrección de errores como el tener términos en primeras diferencias lo cual elimina generalmente regresiones espurias, su facilidad de encajar en modelos que van de los general a lo específico y la más importante es que el término de error es una variable estacionaria lo que previene errores mayores en el largo plazo.

IV.4 Pruebas de diagnóstico

Jarque-Bera (Prueba de normalidad)

Las propiedades de los estimadores de MCO depende de cómo se distribuye el término de error, que se espera sea $u_i \sim N(0, \sigma^2)$, es decir que el término de error se distribuye normalmente con media cero y varianza σ^2. Wooldridge (2001) menciona que si los errores u_1, u_2, u_3 ... no se distribuyeran de manera normal, esto haría que los estimadores no fueran consistentes y por lo tanto se generara un problema de inconsistencia a la hora de hacer inferencias sobre los valores críticos de las distribuciones t y F. Gujarati (2010) define a la consistencia de los estimadores como la convergencia de los verdaderos valores poblacionales cuando el tamaño de la muestra aumenta indefinidamente.

Las hipótesis para esta prueba son:

$H_{0:}$ Existe normalidad

$H_{1:}$ No existe normalidad

Para (Kmenta, 1980) existen 4 supuestos básicos respecto a la perturbación estocástica o error: normalidad, media cero, homoscedasticidad y no existencia de autocorrelación. Además, uno último que se refiere a la variable explicativa, la cual supone que no es estocástica y su varianza muestral es un número finito.

Si no se cumple el supuesto de normalidad, entonces los coeficientes de las variables regresoras no estarán normalmente distribuidas y por lo tanto probar hipótesis será una tarea complicada (véase Gujarati, 2010)

Breusch-Godfrey (correlación serial)

Durbin-Watson presenta inconvenientes a la hora de probar si existe o no correlación serial cuando se trata de modelos autorregreseivos, por ende la alternativa viable para nuestro análisis es la prueba Breusch-Godfrey. Citando a (Gujarati, 2010), esta prueba es mejor porque aplica a valores rezagados de la variable regresada, es decir modelos autorregresivos. Las hipótesis son las siguientes:

$H_{0:}$ No existe correlación serial

$H_{1:}$ Existe correlación serial

Asteriou y Hall (2007) señalan que al existir autocorrelación, los estimadores serán ineficientes, la R^2 sobreestimada y el estadístico t será mayor de lo que realmente es, por tanto indicaran un ajuste incorrecto y mayor significancia de la que realmente es.

En series de tiempo y en datos de corte transversal la autocorrelación es un fenómeno recurrente, ya que podría existir correlación entre miembros de series observadas en el tiempo. También (Asteriou y Hall, 2007) mencionan la multicolinealidad, que surge cuando las variables regresoras están correlacionadas, lo que provoca que los coeficientes de las variables regresoras sean indeterminados y que los errores estándar no estén definidos (véase también Gujarati, 2010).

ARCH

La prueba ARCH es un multiplicador de Lagrange para probar si existe o no heteroscedasticidad condicional autorregresiva en los residuos. Esta especificación se dio a raíz de que la varianza de las perturbaciones o errores en modelos de series de tiempo son menos estables de lo que se asume (véase Greene, 2012). Esto se debe a que la magnitud de los residuos parece estar relacionada con la magnitud de los residuos recientes, es por eso que esta prueba hace la regresión de los residuales al cuadrado sobre los residuales rezagados al cuadrado y una constante. Las hipótesis para esta prueba son:

$H_{0:}$ No hay heteroscedasticidad

$H_{1:}$ Hay heteroscedasticidad

Estas hipótesis están en función de la regresión que se lleva a cabo en la prueba en donde la variable regresada es el termino de error y las explicativas el mismo término de error rezagado s periodos, donde s $\{1, 2,3\ldots\}$.

Kmenta (1980) y Asteriou y Hall (2007), mencionan que la heteroscedasticidad afecta la forma en la que se distribuyen los coeficientes de las variables explicativas aumentando las varianzas de los estimadores y por tanto haciendo el método de MCO ineficiente

RESET de Ramsey (especificación)

En muchas ocasiones podemos estar usando una especificación errónea de una variable o variables, lo que puede llevarnos a estar especificando mal un modelo. Wooldridge (2001) menciona que para aplicar la prueba, deben decidirse cuantas funciones de los valores ajustados incluir en una regresión ampliada. Siguiendo a (Ibarra, 2013), en nuestras pruebas emplearemos los términos cuadráticos. Las hipótesis para esta prueba son:

$H_{0:}$El modelo está especificado correctamente

$H_{1:}$ El modelo está especificado incorrectamente

Las consecuencias de omitir variables relevantes en el modelo, son mayores que las consecuencias de introducir variables irrelevantes. Gujarati (2010), señala que los estimadores de MCO de las variables estarán sesgados y serán inconsistentes, las varianzas y los errores estándar de los coeficientes estarán estimadores de forma incorrecta. Esto viciará los procedimientos usuales de las pruebas de hipótesis.

IV.5 Metodología de pruebas límite

Las dos secciones previas sobre modelos autorregresivos con rezagos distribuidos y modelo de corrección de error sirvieron de antesala a la forma de estimar de (Pesaran et al., 2001) en la cual empleamos para este análisis. La parte interesante de esto es que la metodología de (Pesaran el al., 2001), acorta el proceso de estimación, ya que en lugar de hacer la estimación de los parámetros en dos etapas con los valores de las tablas t y F convencionales, su metodología lo hace en una sola etapa, pero con tablas especiales elaboradas por los autores, hecho que el lector puede comprobar al usar ambas formas de estimar, ya que llegará a los mismos resultados eventualmente. Finalmente, otra ventaja del enfoque de Pesaran et al. (2001), es que busca eliminar el sesgo en la estimación de los coeficientes de largo plazo causado por la posible endogeneidad de los regresores, al realizar la estimación utilizando la estructura de rezagos de un modelo ARDL.

Ahora bien, para probar que las variables son o no estacionarias en primeras diferencias y así poder usar la metodología de (Pesaran et al., 2001), se ocuparon dos pruebas: la prueba Augmented Dickey- Fuller y la Phillips-Perron. El periodo para el análisis que fue empleado abarca del primer trimestre de 1990 al cuarto trimestre de 2013, completándose 96 observaciones.

La prueba ADF incluye intercepto, con la longitud de rezago determinada por Akaike (máximo 4 rezagos) y la prueba de PP incluye intercepto. Una vez realizadas las pruebas, puede verse en la tabla A.1 en el apéndice, que se pasan satisfactoriamente ambas pruebas al 1% y 5%, probando así la viabilidad de la metodología de (Pesaran et al., 2001), la cual requiere que las variables sean integradas de orden cero, uno o una combinación de ambas.

Las variables que tuvieron que ser diferenciadas para volverse estacionarias fueron la inversión extranjera de cartera, la inflación, la base monetaria nominal y real, la inversión real, el PIB real y el tipo de cambio real.

Para poder conocer la influencia que tienen los flujos de capital, el tipo de cambio real en su versión corriente y rezagada, la acumulación de reservas y otras variables macroeconómicas sobre la formación bruta de capital para los Chile a partir del primer trimestre de 1990 al cuarto trimestre de 2013, se dará a la ecuación la siguiente forma:

$$(5)\ PI_{LP} = \partial_1 Z_1 + \partial_2 Z_2 + \partial_3 Z_3 + \cdots + \partial_k Z_k$$

En donde PI_{LP} corresponde a la formación bruta de capital o inversión. Del lado derecho de la ecuación están los coeficientes ∂ y las variables Z, las cuales pretenden explicar a la inversión en el largo plazo.

Realizaremos las estimaciones econométricas para probar la existencia de una relación en niveles entre las variables siguiendo la metodología de (Pesaran et al., 2001). El punto de partida es la estimación de un modelo ARDL, en forma de modelo de corrección de error e incluyendo las variables tanto en primera diferencia como en niveles:

$$(6)\ \Delta PI_t = \Sigma_{j=1}^{n} b_i \Delta PI_{t-j} + \Sigma_{i=1}^{k} \Sigma_{j=0}^{n} d_{i,j} \Delta Z_{i,t-j} + \sigma PI_{t-1} + \Sigma_{i=1}^{k} a_i Z_{i,t-1} + a_0$$

En la ecuación (6) Δ es la primera diferencia de las variables que analizamos. La variable dependiente que aparece como independiente empieza a rezagase en $PI_{t-1} - PI_{t-2}$ porque si no estaríamos considerando doble vez la variable y sería un error, de ahí las demás variables explicativas empiezan a rezagarse desde su valor corriente. La segunda parte de la ecuación es en la que se encuentra el coeficiente σ el cual se conoce como el coeficiente de corrección de error y este nos indica la velocidad con la cual se corrige el error, como se mencionó en la sección anterior. Cabe destacar que la especificación de la ecuación (6) está basada en la asunción de que los errores no están correlacionados (véase Pesaran et al., 2001).

En la ecuación (6), la primera parte antes de σ , sirve para especificar bien el modelo, darle el número adecuado de rezagos y mide el efecto de corto plazo. Mientras que la segunda parte de la ecuación está en niveles con un rezago y mide la parte de largo plazo que es la que nos interesa conocer. Existe un delicado balance para elegir el número de rezagos suficientemente grande para mitigar el problema de correlación serial de los residuo y al mismo tiempo suficientemente pequeño para evitar sobre parametrizar indebidamente el modelo (véase Pesaran et al., 2001).

Una vez que estimamos el modelo se espera que σ sea negativo, es decir $\sigma<0$. Cuando obtengamos los a_i coeficientes de nuestros modelos, lo que procedemos a hacer es calcular los coeficientes de largo plazo los cuales se calculan de la siguiente forma:

$$\delta_1 = \frac{a_1}{-\sigma}, \delta_2 = \frac{a_2}{-\sigma}, \delta_0 = \frac{a_0}{-\sigma}$$

Las etapas para la hora de la estimación son 4 y se describirán a continuación:

En la primera etapa procedemos a estimar el modelo ARDL siguiendo los lineamientos y considerando la teoría macroeconómica. Para elegir el número de rezagos debemos basarnos en los criterios de Akaike o Schwartz el cual al comparar dos o más modelos y se preferirá aquel que tenga un menor valor. De ahí se realizarán las pruebas de diagnóstico para ver que realmente el modelo esté bien especificado y las pruebas que realizan son las siguientes:

- Jarque-Bera para ver si pasa la prueba de normalidad
- Breusch-Godfrey Serial Correlation LM Test con los rezagos que se impongan al modelo en la parte de corto plazo
- Prueba de heteroscedastidad ARCH con uno y dos rezagos
- Prueba Reset de Ramsey

Finalmente en esta etapa incluimos *dummies* para controlar los posibles efectos de las crisis económicas acontecidas en Chile y mitigar los efectos de los valores extremos de los residuos sobre la estimación, ya que si no se hace así, el coeficiente de sigma muchas veces se torna no significativo, la R^2 es muy baja y muchas de las ocasiones no pasa las pruebas de diagnóstico de la primera etapa por lo que es muy importante incluirlas en el modelo.

En la segunda etapa de la estimación realizamos las pruebas límite para determinar si existe o no una relación de largo plazo de las variables de interés sobre la formación bruta de capital. Pesaran et al (2001) explican la razón de usar las pruebas F y t, la prueba de Wald o F tiene como hipótesis nula que todos los coeficientes de la parte de la ecuación de largo plazo sean iguales a 0, es decir H_0: $\sigma = a_1 = a_2 = \cdots = 0$ y si en dado caso la hipótesis nula no llega a ser rechazada no podemos establecer la existencia de una relación de largo plazo. Para la prueba t Pesaran et al (2010) mencionan el uso del estadístico asociado con el coeficiente de la variable dependiente rezagada, la cual es σ en un modelo de corrección de equilibrio sin restricción condicional. Esta prueba tiene como hipótesis nula que el coeficiente de corrección de error o σ sea igual a 0, es decir H_0: σ=0.

Para poder aceptar o rechazar la hipótesis nula, se utilizan valores críticos calculados por Pesarán et al. (2001) y además existen valores límite mínimos o máximos. Para rechazar la hipótesis nula tanto para el estadístico t y F, se utilizan unas tablas especiales que difieren en los valores de las tablas t y F estándares, las cuales sirven para probar la existencia de una relación de largo plazo entre las variables. Los valores críticos que se tomaron para realizar la prueba F presentan 5 casos:

- Caso 1: que la regresión no presente intercepto ni tendencia
- Caso 2: que tenga intercepto restringido pero no tendencia
- Caso 3: que tenga intercepto no restringido pero no tendencia
- Caso 4: que tenga intercepto no restringido y tendencia restringida
- Caso 5: que tenga intercepto y tendencia no restringidos

Para nuestras pruebas solo utilizamos las tablas correspondientes al caso 1, 3 y 5, según fuera la situación.

Los valores críticos que se tomaron para realizar la prueba t presentan 3 casos:

- Caso 1: que la regresión no presente intercepto ni tendencia
- Caso 2: que tenga intercepto no restringido pero no tendencia
- Caso 3: que tenga intercepto y tendencia no restringidos

Para nuestras pruebas utilizamos las tablas correspondientes a los tres casos.

La ventaja de esta metodología es que sin importar si las variables son integradas de orden 0 o 1, los valores críticos pueden ser utilizados. Estas tablas establecen valores críticos distintos respecto al número de variables que se integren a la parte de la ecuación que corresponde al largo plazo. Para las tablas F, existe una columna para las ecuaciones que poseen variables únicamente de orden 0, es decir son estacionarias y otra para las ecuaciones que poseen variables de orden 1, es decir no estacionarias. Los valores críticos para las variables integradas de orden 1 son mayores que los valores para las variables integradas de orden 0. También conforme se aumentan el número de variables los valores críticos disminuyen.

A diferencia de las tablas para el valor crítico asintótico del estadístico F, las tablas para la prueba t para las variables integradas de orden 0 sin importar el número de variables que se introduzcan al modelo, sus valores críticos permanecen constantes, mientras que para las variables integradas de orden 1 conforme aumenta el número de variables los valores críticos aumentan, haciendo que la prueba para el coeficiente de velocidad de ajuste de largo plazo sea más difícil de pasar conforme el modelo aumenta de variables.

Una vez que se han realizado con éxito estas dos etapas, debe procederse a la simplificación de los rezagos de la primera parte de la ecuación, o sea la de corto plazo y algo que no debe hacerse es eliminar los rezagos intermedios aunque no sean significativos, en esta especificación solo deberán eliminarse los últimos rezagos si es que no son significativos al menos al 10%.