

3. Innovación y empleo: evidencia a nivel de firma para Colombia

**Martha López
Héctor Zárate***

La innovación tecnológica se reconoce como uno de los factores determinantes del crecimiento económico. La innovación en variedades, en calidad y la disminución de costos resultante de la misma son variables que explican el crecimiento económico de acuerdo con modelos seminales como los de Grossman y Helpman (1993). Es por esto que países desarrollados y en vías de desarrollo consideran importante la introducción de políticas que promuevan la innovación a nivel de firmas. Adicionalmente, su impacto sobre el empleo es de particular importancia, aunque sus interrelaciones no son bien conocidas. De un lado, el impacto sobre el empleo en el largo plazo ha mostrado ser positivo a través del incremento en la demanda de productos de la firma. Pero las innovaciones relacionadas con procesos productivos con frecuencia tienen un efecto de desplazamiento sobre el mismo.

La innovación se puede catalogar de dos formas, innovación en los productos e innovación de los procesos de producción. Las innovaciones que mejoran el rango o la calidad de los productos ofrecidos por las firmas también tenderán a incrementar el nivel de producto de la firma y por tanto el empleo. De otro lado, un cambio técnico (en el sentido de Hicks) estará asociado con la combinación de factores y este puede tener un efecto positivo o negativo sobre el empleo. El objetivo de este estudio es doble. En primer lugar se investiga el efecto neto de la innovación sobre el empleo a nivel de firma en Colombia utilizando un modelo ampliamente utilizado en la literatura acerca de la relación

* Los autores agradecen a Hernando Vargas, Eduardo Sarmiento Gómez, María Teresa Ramírez y a un jurado anónimo por sus valiosos comentarios a versiones anteriores del documento. También agradecen al DANE por el acceso a las bases de datos correspondientes y a Juan Camilo Osorio y Santiago Figueroa por su asistencia en la investigación. Los autores son, respectivamente, investigadora de la Unidad de Investigaciones y econometrista de la Unidad de Econometría del Banco de la República. Las opiniones expresadas en este documento son responsabilidad exclusiva de los autores y no representan las del Banco de la República ni las de su Junta Directiva.

entre innovación y empleo: el modelo propuesto por Harrison *et al.* (2008). Este modelo, simple pero formal, tiene en cuenta los efectos estructurales entre innovación y empleo. En el modelo se presenta una relación entre el crecimiento del empleo de las firmas y la introducción de procesos de innovación y los dos componentes de las ventas: productos “viejos” y “productos nuevos o mejorados de manera sustancial”.

En segundo lugar, la metodología econométrica que se propone no se ha utilizado antes en los estudios relacionados con innovación y desempleo. En particular, como la estimación econométrica debe hacerse con el uso de variables instrumentales (debido a problemas de endogeneidad), se propone un estudio en el que se tenga en cuenta la incertidumbre en la relación entre las variables instrumentales y el error aleatorio. Esto se hace implementando técnicas bayesianas.

En cuanto a las relaciones por analizar, primero se examina el impacto de la innovación para la industria manufacturera como un conjunto. Luego, se estudia la generación de empleo como empleo calificado o no calificado. También se analiza la relación entre innovación y empleo a nivel de firmas exportadoras y no exportadoras y a nivel de firmas de alta y baja tecnología. Finalmente, se utilizan las estimaciones para el total de la industria manufacturera para hacer una descomposición del crecimiento del empleo en componentes relacionados con la productividad, la venta de productos viejos, la productividad derivada del proceso de innovación y el asociado al crecimiento de productos nuevos.

Los resultados obtenidos muestran que, en línea con los encontrados para otros países con técnicas econométricas diferentes, la innovación en productos es una fuente importante de generación de empleo y explica parte del crecimiento del empleo en Colombia, mientras que (a diferencia de otros países de Latinoamérica y Europa) la innovación en procesos no tiende a desplazar el empleo.

El resto del documento se organiza de la siguiente manera. La sección 1 es una breve revisión de la literatura sobre el tema. La sección 2 presenta el modelo teórico. La sección 3 es una descripción de nuestra propuesta de estimación econométrica. La sección 4 describe los datos. La sección 5 presenta los resultados de las estimaciones. En la sección 6 se presenta la descomposición del crecimiento del empleo. En la Sección 7 discutimos la robustez de los resultados y la sección 8 concluye.

1. Revisión de la literatura

Varios de los estudios de los años cincuenta acerca del efecto de la innovación sobre el empleo eran estudios de caso o de firmas particulares. Por lo general se encontraba que había destrucción de empleo después de la introducción de nuevas técnicas. Sin embargo, en dichos trabajos no se tenía en cuenta el efecto de la expansión del producto de la innovación e ignoraban el contrafactual de qué hubiese pasado si las firmas no hubiesen innovado. Posteriormente, se desarrollaron trabajos estadísticos y econométricos para analizar el anterior problema. Muchos estudios, que seguían a Salter (1966), se enfocaron en trabajos a nivel de la industria. Salter reportaba una relación positiva del crecimiento de la productividad total de los factores con el aumento del empleo en Inglaterra. Basado en una tecnología Hicks-neutral, en el análisis de Salter para la industria británica encuentra que: 1. Las industrias con ganancias en tasas de productividad tendían a pasar su

resultado a los hogares en la forma de precios relativos más bajos en lugar que al trabajo como salarios más altos. 2. Aquellas industrias en las cuales la tasa de ganancias en productividad fue lo suficientemente rápida como para permitir disminuciones en los precios relativos también fueron industrias en las que se experimentó la mayor ganancia en el producto. 3. En general, el crecimiento del producto en las industrias con altas ganancias de productividad ha sido suficiente para más que compensar las pérdidas en el empleo originadas en el incremento de la productividad. Industrias con crecimientos en el producto por trabajador por encima del promedio en general también informaron aumentos en el empleo por encima del promedio.

Otro trabajo, ya a nivel de empresa, es el de Entorf y Pohlmeier (1990), quienes analizan una amplia muestra de firmas alemanas en 1984. Estas tienen un modelo simultáneo de exportaciones, innovación y empleo que presenta evidencia que la innovación en producto (pero no en proceso) incrementa de manera significativa el empleo. Un trabajo con un modelo estructural más reciente es el de Van Reenen (1997), en el cual, bajo un enfoque microeconómico, se estima la elasticidad de sustitución entre capital y trabajo para un panel de datos de Inglaterra en el periodo 1976-1982. Allí se encuentra que la innovación tecnológica está asociada con mayor empleo a nivel de firma y que las firmas grandes tienden a innovar más.

Más recientemente, Harrison *et al.* (2008) desarrollan y estiman un modelo estructural para el caso de cuatro países europeos (Alemania, Francia, España y Reino Unido) y encuentran una contribución importante de la innovación en producto en el crecimiento del empleo en esos países. Asimismo, Benavente y Lauterbach (2008) aplicaron la misma metodología para Chile, Hall *et al.* (2007) para Italia, y Crespi y Tacsir (2011) para cuatro países Latinoamericanos (Chile, Uruguay, Costa Rica y Argentina); los resultados hallados fueron similares. En todos estos casos se utilizó la metodología tradicional de variables instrumentales sin tener en cuenta la incertidumbre en la correlación entre los instrumentos y el término de error de la regresión a estimar. También se encuentra que el efecto compensación es mayor al efecto desplazamiento sobre el empleo.

Por el contrario, hay alguna evidencia que el impacto de la innovación sobre el empleo es negativo. Por ejemplo Klette y Forre (1998) analizan el caso de Noruega entre 1982 y 1992 y relacionan el crecimiento neto del empleo a nivel de firma con características de la misma (como si la firma pertenece a firmas con I&D o no, y el tamaño de la firma). Usaron un modelo de forma reducida y los resultados muestran que al controlar por diferencias en la industria, las plantas con I&D crean menos empleo que las firmas sin I&D.

En conclusión, los estudios difieren en los modelos y métodos utilizados y más específicamente, en la manera como abordan la endogeneidad y la heterogeneidad. Algunos son simples relaciones de correlación y otros la estimación de relaciones de forma reducida; muy pocos han tratado una aproximación más estructural. En los diferentes estudios hay evidencia mixta en los resultados acerca del impacto de la innovación del efecto desplazamiento y el efecto compensación sobre el empleo, aunque predomina la evidencia de un impacto positivo.

Para el caso de Colombia, no existen estudios al respecto, y en ese sentido este trabajo pretende ayudar a llenar ese vacío.

2. Empleo e innovación a nivel de firma

2.1 Innovación en procesos e innovación en productos

Los efectos de la innovación tecnológica en el empleo a nivel de firma dependen de si la innovación se hace en el proceso de producción (el cual cambia la función de producción) o en la innovación en productos (que cambia la función de demanda). La primera tiene un impacto directo sobre la productividad y los costos unitarios y, por tanto, es más probable que esté asociada con reducciones en las cantidades de factores de producción. Por consiguiente, tendería a desplazar trabajo por unidad de producto. No obstante, la reducción en los costos unitarios podría resultar en una disminución de precios, lo que estimularía la demanda de productos y, en consecuencia, el empleo. La magnitud de estos efectos de desplazamiento y de compensación depende en gran medida de la elasticidad de la demanda por los productos de la firma. En cuanto a la innovación de productos, en ausencia de cualquier elemento en el proceso, un nuevo producto generará nueva demanda y esto debería elevar la demanda por trabajo. Por supuesto, si una firma produce múltiples productos, los bienes nuevos pueden desplazar a los productos viejos, lo cual reducirá la expansión consolidada en la demanda por trabajo.

Teóricamente, los efectos de la innovación son ambiguos, por lo que es un problema empírico determinar cuáles son los factores que dominan. A continuación presentamos el modelo teórico que seguimos para hacer las estimaciones econométricas.

2.2 Modelo teórico

El modelo teórico es el desarrollado y presentado en Harrison *et al.* (2008). Una firma puede producir dos tipos de bienes: productos viejos o marginalmente modificados (productos viejos), denotado $i=1$, y productos nuevos o significativamente mejorados (productos nuevos), denotados $i=2$. Se observa a la firma durante dos años diferentes $t=1$ y $t=2$. La producción de productos viejos y nuevos en el año se denota respectivamente Y_{1t} y Y_{2t} . En $t=1$ todos los productos son viejos por definición, es decir $Y_{21} = 0$. Si en $t=2$ no se introducen productos nuevos, $Y_{22} = 0$.

La función de producción de productos viejos o nuevos presenta retornos constantes a escala en el capital (K_{it}), el trabajo (L_{it}) y los insumos intermedios (M_{it}). Dicha función puede ser escrita como dos funciones de producción idénticas y separables que tienen asociados parámetros de eficiencia θ Hicks-neutrales diferentes.

$$Y_{it} = \theta_{it} F(K_{it}, L_{it}, M_{it}) \exp^{\eta + \omega_n} \text{ con } i = 1 \text{ y } t = 1, 2, \text{ e } i = 2 \text{ y } t = 2$$

donde η representa los efectos fijos idiosincrásicos no-observados a la firma y ω los choques de productividad asociados con todos los cambios en la función de producción por razones diferentes al desarrollo tecnológico (es decir, inversiones no observadas, explosiones en la utilización de la capacidad, problemas laborales y de organización temporales). Se entiende que son choques de productividad no-tecnológicos.

Las decisiones sobre el uso de insumos (como el empleo) se realizan con base en una política de minimización de costos.

$$C(W_{it}, Y_{it}, \theta_{it'}) = C(W_{it}) \frac{Y_{it}}{\theta_{it} \exp^{\eta+\omega_{it}}} + Fi$$

donde el costo marginal, $C(W)/\theta e^{\eta+\omega}$, es una función del vector de precios de los insumos y F representa costos fijos.

Utilizando el lema de Shepard, las demandas de trabajo para productos viejos y nuevos, respectivamente son:

$$L_{1t} = C_{wl}(W_{1t}) = \frac{Y_{1t}}{\theta_{1t} e^{\eta+\omega_{1t}}} \text{ para } t = 1,2$$

$$L_{22} = C_{wl}(W_{22}) = \frac{Y_{22}}{\theta_{22} e^{\eta+\omega_{22}}} \text{ si } Y_{22} = 1,2$$

donde $C_{wl}(\cdot)$ representa la derivada de $C(\cdot)$ con respecto al salario. Se puede asumir, por simplicidad que $C_{wl}(W_{11}) = C_{wl}(W_{12}) = C_{wl}(W_{22})$, es decir, que los precios de los insumos permanecen constantes e iguales durante los dos periodos para productos viejos y nuevos.

La tasa de crecimiento del empleo durante los años de análisis se puede escribir como:

$$\frac{\Delta L}{L} \approx \frac{L_{12} + L_{22} - L_{11}}{L_{11}} = \frac{L_{12} - L_{11}}{L_{11}} + \frac{L_{22}}{L_{11}} \approx \ln\left(\frac{L_{12}}{L_{11}}\right) + \frac{L_{22}}{L_{11}}$$

donde, por convención, la tasa de crecimiento de productos nuevos se define como L_{22}/L_{11} . Con base en esta descomposición y las ecuaciones derivadas de demanda por trabajo se puede escribir la siguiente ecuación para el crecimiento del empleo:

$$\frac{\Delta L}{L} = [\ln(\theta_{12}) - \ln(\theta_{11})] + [\ln(Y_{12}) - \ln(Y_{11})] + \frac{\theta_{11} Y_{22}}{\theta_{22} Y_{11}} (w_{12} - w_{11}) \quad (1)$$

Se infiere que el crecimiento del empleo depende de cuatro componentes: 1. El cambio en la eficiencia de los procesos de producción de los productos viejos 2. La tasa de cambio de la demanda de estos productos en el tiempo, 3. La expansión en la producción atribuida a la demanda de productos nuevos, y 4. El impacto de los choques a la productividad.

Se espera que un incremento en el cambio en la eficiencia de los procesos de producción de productos viejos sea mayor en las firmas que introducen innovación en los procesos de producción. De otra parte, el impacto que tenga la innovación en el crecimiento del empleo depende de la eficiencia relativa entre producir productos viejos y nuevos ($\theta_{11}/$

θ_{22}). Si los productos nuevos son producidos con mayor eficiencia que los productos viejos, es decir si la razón es menor a uno, el empleo no crece uno a uno con el crecimiento del producto de los nuevos productos.

2.3 Modelo econométrico

El anterior modelo se puede escribir en forma de regresión econométrica de la forma

$$l = \alpha_0 + \alpha_1 d + y_1 + \beta y_2 + u \quad (2)$$

y_1 y y_2 son las tasas de crecimiento de los productos viejos y nuevos $[\ln(Y_{12}) - \ln(Y_{11})]$ y $\theta_{11} Y_{22} / \theta_{22} Y_{11}$, respectivamente. La variable d es una *dummy* igual a uno si la firma implementó innovación en “procesos únicamente”, esto es, no asociados a la innovación en producto. El parámetro β captura la eficiencia relativa de la producción entre productos viejos y nuevos. El término u recoge el término de error y los choques a la productividad del modelo, $u = -(w_{12} - w_{11}) + \xi$. El parámetro α_0 representa (menos) el crecimiento en la eficiencia de producción de productos viejos. Como la variable y_1 tiene un coeficiente igual a uno, para la estimación simplemente se puede sustraer de la variable dependiente. Por lo tanto, la ecuación (2) permite estimar dos efectos de interés sobre el empleo: el efecto bruto de la innovación en procesos o efecto desplazamiento, y el efecto bruto de la innovación en producto sobre el empleo.

La innovación en producto también puede tener efectos en la productividad. La teoría no da una indicación general de la dirección de este efecto. Se espera que el principal efecto de la innovación en producto provenga del ensanchamiento de la demanda. El tercer término de la ecuación (2) recoge ambos efectos¹.

2.3.1 Problemas de endogeneidad, identificación y medición

Como lo indica Harrison *et al.* (2008), la identificación y estimación consistente de los tres parámetros (α_0 , α_1 y β) depende de que las variables que representan innovación en procesos y en producto (d y y_2) no estén correlacionadas con el término de error u o, por lo menos, de la disponibilidad de instrumentos correlacionados con estas variables y no correlacionados con los choques de productividad recogidos en u .

Existen buenas razones para pensar que los choques de productividad no son predecibles perfectamente en el momento en que se toman las decisiones de inversión en tecnología, por lo que, una estimación consistente de la ecuación (2) con MCO no es posible. De manera adicional, si la inversión en tecnología estuviese positivamente relacionada con los choques de productividad ω (por ejemplo si dichas inversiones son estimuladas por un aumento en la utilización de la capacidad de la firma y el incremento en la productividad

¹ Se puede extender la ecuación (2) para permitir que la innovación en proceso afecte cambios en la efectividad de la producción de productos nuevos y viejos. Los resultados se presentan en el Apéndice A.

del trabajo resultante), y por consiguiente correlacionados en forma negativa con u , se esperaría un sesgo hacia abajo en los coeficientes de d y de y_2 , lo cual implicaría estimar un efecto desplazamiento de empleo por innovación en los procesos muy grande, y un impacto de la introducción de nuevos productos muy pequeño. Así que si la innovación de la firma está correlacionada con la productividad de la misma, la innovación en producto también va a estarlo. Dado que la productividad de la firma también aparece en el término de error de las ecuaciones de demanda por trabajo, la innovación en productos será endógena, lo que conlleva serios problemas de identificación.

En cuanto a los problemas de medición, en la estimación de la ecuación (2), es necesario sustituir el crecimiento en la producción real, por el crecimiento de las ventas nominales (que es lo que se observa). Sabemos que $g_1 = \left(\frac{P_{12}Y_{12} - P_{11}Y_{11}}{P_{11}Y_{11}} \right)$ es la tasa de crecimiento de las ventas nominales de productos viejos, la cual se puede aproximar a $g_1 = y_1 + \pi_1$, donde $\pi_1 = \left(\frac{P_{12} - P_{11}}{P_{11}} \right)$. Por su parte, $g_2 = \left(\frac{P_{22}Y_{22}}{P_{11}Y_{11}} \right)$ es la tasa de crecimiento de las ventas a causa de los nuevos productos y se puede aproximar a $g_2 = y_2(1 + \pi_2)$, donde $\pi_2 = \left(\frac{P_{22} - P_{11}}{P_{11}} \right)$. Sustituyendo g_1 y g_2 por y_1 y y_2 , respectivamente, en la ecuación (2) obtenemos:

$$l = \alpha_0 + \alpha_1 d + g_1 - \pi_1 + \beta(g_2 - y_2 \pi_2) + u$$

y reordenando,

$$l - g_1 = \alpha_0 + \alpha_1 d + \beta g_2 + v \quad (3)$$

donde

$$v = -\pi_1 - \beta \pi_2 y_2 + u$$

sin embargo, la ecuación (3) presenta problemas de endogeneidad, debido a que $g_2 = y_2(1 + \pi_2)$ esta correlacionado con el término $\beta \pi_2 y_2$ del nuevo término de perturbación. Este problema se puede solucionar mediante el uso de un instrumento para g_2 que esté correlacionado con y_2 , que no esté correlacionado con $y_2 \pi_2$ y que además no lo esté con los choques en la productividad (los instrumentos utilizados en las estimaciones se discuten en la sección 5.1)

De otra parte, en la ecuación (3) el error compuesto v incluye la variable del cambio en los precios de los productos viejos π_1 , en tanto que no podemos controlar los cambios en dichos precios. Sabemos que cualquier incremento en la eficiencia disminuye el costo marginal en la misma proporción. Por esta razón, si las firmas están fijando su precio de manera competitiva o si lo hacen como un margen sobre costo marginal, las variaciones en los precios tal vez serán proporcionales al incremento en la eficiencia (con

signo contrario). Esto es, que en ausencia de información sobre π_1 , lo que se identificaría sería el efecto de la innovación en los procesos sobre el empleo neto del efecto compensador de las variaciones en el precio. Por lo que, para evitar este problema, en el análisis econométrico se tomarán los índices de precios correspondientes de cada industria π como una *proxy* de π_1 .

En la práctica, lo que se estimará para corregir el problema de π_1 será:

$$l - (g_1 - \pi) = \alpha_0 + \alpha_1 d + \beta g_2 + v \quad (4)$$

donde

$$v = -(\pi_1 - \pi) - \beta \pi_2 y_2 + u$$

En todas las regresiones incluimos un conjunto de *dummies* de industria, pero sus coeficientes se restringen a que sumen cero para preservar la interpretación de la constante.

3. Método de Bayes

Las consideraciones anteriores conllevan a estimar un modelo en el que g_2 y $l - g_1 - \pi$ se determinan en forma simultánea. Las técnicas econométricas con variables instrumentales se utilizan para evitar el sesgo de endogeneidad al incluir g_2 , que se correlaciona con el error aleatorio v y es una variable endógena. En esas técnicas los instrumentos están formados por un conjunto Z de variables correlacionadas con g_2 pero independientes del error aleatorio. La parte de la variación de g_2 correlacionada con v no puede ser utilizada para hacer inferencia de β . Así, el papel de la variable instrumental es proporcionar variación en g_2 independiente de v . Si el instrumento es débil se induce poca variación en g_2 y, por consiguiente, hay poca información en la muestra para estimar β y en el caso extremo la identificación del parámetro es inalcanzable.

En la literatura econométrica clásica se ha documentado que la presencia de instrumentos débiles causa problemas con la distribución asintótica del estimador de variables instrumentales ya que dicho estimador es la razón de momentos muestrales. En este artículo se utiliza una metodología basada en la función de verosimilitud que no emplea la aproximación asintótica y con la cual se pueden obtener inferencias más precisas. La distribución conjunta de g_2 y $l - (g_1 - \pi)$ dado Z genera el siguiente modelo:

$$g_2 = \delta Z + \varepsilon \quad (5)$$

donde la ecuación estructural es

$$l - (g_1 - \pi) = \beta g_2 + x' \gamma + v \quad (6)$$

en la que γ incluye los parámetros α_0 , α_1 y veintidós *dummies* de industria. Por su parte, x es una matriz que contiene el término constante, la *dummy* de si se introdujo innovación

en “proceso únicamente” y las veintidós *dummies* de industria. En la estimación se usa el método de Gibbs, que emplea un procedimiento iterativo que construye una secuencia dependiente de los valores de los parámetros cuya distribución converge a la distribución posterior conjunta [véase Rossi *et al.* (2005)].

Para el método de Gibbs se requieren distribuciones conjugadas *a priori* estándar sobre los parámetros, en nuestro caso,

$$\begin{pmatrix} \varepsilon \\ \nu \end{pmatrix} \sim N\left(0, \Sigma = \begin{bmatrix} 1 & \rho \\ \rho & 1 \end{bmatrix}\right)$$

donde la matriz de varianzas y covarianzas multivariada, Σ , se distribuye inversa Wishart (*IW*), en la que ρ mide la correlación entre los dos errores aleatorios. Un valor alto de ρ implica alta endogeneidad (en este ejercicio el valor inicial de ρ_0 se fijó en 0,8).

$$\Sigma \sim IW(\eta_0, S_0)$$

Por su parte, el parámetro δ se distribuye

$$\delta \sim N(\bar{\delta}, A_{\delta}^{-1})$$

en el inicio se fijó un valor de parámetro bajo, lo cual implica que tenemos un instrumento débil al comienzo de la cadena. Para los parámetros β y γ tenemos:

$$\begin{pmatrix} \beta \\ \gamma \end{pmatrix} \sim N\left(\begin{pmatrix} \bar{\beta} \\ \bar{\gamma} \end{pmatrix}, A_{\beta\gamma}^{-1}\right)$$

Una vez se fijan las distribuciones conjugadas o *a priori*, el método de Gibbs determina las distribuciones condicionales de la siguiente manera:

$$\beta, \gamma \mid \delta, \Sigma, g_2, (l - (g_1 - \pi)), x, z$$

$$\delta \mid \beta, \gamma, \Sigma, g_2, (l - (g_1 - \pi)), x, z$$

$$\Sigma \mid \beta, \delta, g_2, (l - (g_1 - \pi)), x, z$$

Por último, a partir de las distribuciones condicionales se construyen las distribuciones marginales posteriores para cada parámetro, las cuales cumplen con la característica de estacionariedad de la cadena de Markov, lo que indica que el instrumento causa efecto sobre g_2 . Por esta razón, el instrumento utilizado (más adelante se describe el instrumento preferido) bajo este método elimina el problema de identificación que se presenta en variables instrumentales clásicas.

4. Datos

La información fue tomada de la *Encuesta de desarrollo e innovación tecnológica en la industria manufacturera colombiana*, EDIT VI, para 2011-2012, y de la *Encuesta anual manufacturera (EAM)* de los mismos años. La EDIT recolecta información de todas las firmas registradas en la EAM. Esta información fue definida y depurada para mejorar la comparabilidad en términos de composición de la industria y tamaño de la cobertura; también fue limpiada de datos atípicos que puedan contaminar el análisis econométrico. El total de firmas es de 9.023. En el Cuadro 1 se presenta la distribución de las firmas de acuerdo con su clasificación en alta o baja tecnología y exportadoras o no exportadoras. Del total de firmas en la encuesta, 21,0% corresponde a firmas de alta tecnología y 16,7% a firmas exportadoras.

Cuadro 1
Porcentaje de firmas por industria

CIIU	Descripción	No exportadoras		Exportadoras	
		Número	Porcentaje	Número	Porcentaje
Alta tecnología ^{a/}					
24	Fabricación de sustancias y productos químicos	509	28,0	176	9,7
29	Fabricación de maquinaria y equipo n.c.p.	453	24,9	125	6,9
31	Fabricación de maquinaria de oficina, contabilidad e informática	133	7,3	50	2,7
32	Fabricación de equipo y aparatos de radio, televisión y comunicaciones	11	0,6	5	0,3
34	Fabricación de vehículos automotores, remolques y semirremolques	156	8,6	51	2,8
35	Fabricación de otros tipos de equipo de transporte	47	2,6	10	0,5
33	Fabricación de instrumentos médicos, ópticos y de precisión y fabricación de relojes	65	3,6	28	1,5
Baja tecnología					
15	Elaboración de productos alimenticios y de bebidas	1.445	20,0	131	1,8
16	Elaboración de productos de tabaco	2	0	2	0
17	Fabricación de productos textiles	327	4,5	72	1
18	Fabricación de prendas de vestir; adobo y teñido de pieles	814	11,3	189	2,6
19	Curtido y adobo de cueros; fabricación de maletas, bolsos de mano, artículos de talabartería	302	4,2	88	1,2
20	Producción de madera y fabricación de productos de madera y corcho, excepto muebles	188	2,6	14	0,2
21	Fabricación de papel y de productos de papel	121	1,7	36	0,5
22	Actividades de edición e impresión y de reproducción de grabaciones	583	8,1	90	1,2
36	Fabricación de muebles; industrias manufactureras n.c.p	587	8,1	91	1,3
23	Fabricación de coque, productos de la refinación del petróleo y combustible nuclear	51	0,7	6	0,1
25	Fabricación de productos de caucho y plástico	600	8,3	140	1,9

Cuadro 1 (continuación)
Porcentaje de firmas por industria

CIIU	Descripción	No exportadoras		Exportadoras	
		Número	Porcentaje	Número	Porcentaje
		Alta tecnología*			
26	Fabricación de otros productos minerales no metálicos	377	5,2	54	0,7
27	Fabricación de metales comunes	132	1,8	41	0,6
28	Fabricación de productos elaborados de metal, excepto maquinaria y equipo	636	8,8	94	1,3

* La definición sectorial de alta tecnología se basa en aquella utilizada por Eurostat y la OCDE, estimada usando la SIIC del Reino Unido en 2007.

Fuente: cálculos de los autores.

Por otra parte, para cada variable en la muestra se puede asignar a tres grupos, de acuerdo a si la firma reporta que no ha introducido ninguna innovación, ha introducido innovación solo en procesos o si ha puesto en uso innovación en productos (las que han introducido innovación tanto en procesos como en productos, no se distinguen de las que solo implantaron innovaciones en el producto). En el Cuadro 2 se muestran las estadísticas descriptivas correspondientes a esta clasificación. Allí se observa que solo cerca del 21% de las firmas hizo innovación tecnológica entre 2011-2012. El total de firmas que innovó en producto es mayor (11,89%), al total de las firmas que innovó en proceso (9,78%). Es evidente que las firmas innovadoras tienen un mejor comportamiento en términos de crecimiento del empleo. Particularmente, esto es cierto de manera especial en el caso de las firmas innovadoras en producto. En el caso de las ventas se presenta una situación similar: las ventas de las firmas innovadoras crecen más, en específico en el caso de las firmas innovadoras en producto. Además, cabe resaltar que en el caso de estas últimas se observa un proceso de ‘canibalización’ de productos viejos. Sin embargo, el aumento notable en las ventas de los productos nuevos sugiere que el efecto compensación prevalece. La disminución en las ventas de productos viejos de las firmas innovadoras en productos nuevos se muestra desagregada por sectores en el Cuadro 3, en el cual se registra que las mayores caídas en las ventas de productos viejos de estas firmas se encuentran en sectores de baja tecnología.

Cuadro 2
Innovación en procesos y en productos, crecimiento del empleo y ventas en Colombia^{1, 2}

Número de firma	9.032
	(porcentaje)
No innovadoras	78,33
Innovadoras solo en procesos	9,78
Innovadoras en productos	11,89
<i>[Innovadoras en procesos y productos]</i>	<i>[6,94]</i>
Crecimiento del empleo	
Todas las firma	(1,24)

Cuadro 2 (continuación)

Innovación en procesos y en productos, crecimiento del empleo y ventas en Colombia^{1,2}

No innovadoras	(2,41)
Innovadoras solo en procesos	3,01
Innovadoras en productos	4,51
Crecimiento en las ventas³	
Todas la firmas	9,04
No innovadoras	7,83
Innovadoras solo en procesos	9,28
Innovadoras en productos (total)	16,74
Productos viejos	(15,01)
Productos nuevos	31,75
Crecimiento de la productividad	
Todas la firmas	3,75
No innovadoras	3,18
Innovadoras solo en procesos	2,34
Innovadoras en productos	3,52
Crecimiento de precios⁴	
Todas la firmas	(0,11)
No innovadoras	(0,11)
Innovadoras solo en procesos	(0,08)
Innovadoras en productos	(0,13)

¹ Tasas de crecimiento para el período 2011-2012.

² Firmas con más de diez empleados.

³ Crecimiento en las ventas es el promedio de la variable g y promedios para productos viejos y nuevos de las variables g_1 y g_2 , respectivamente.

⁴ Los precios se computan para el conjunto de industrias y se asigna a las firmas conforme a su actividad

Fuente: cálculos de los autores.

Cuadro 3

Crecimiento en las ventas de productos viejos de firmas innovadoras en productos (2011-2012)

CIU	Descripción	Variación porcentual
<i>Alta tecnología</i>		
2412	Abonos y compuestos inorgánicos nitrogenados	(27,99)
2914	Hornos, hogares y quemadores industriales	(30)
2921	Maquinaria agropecuaria y forestal	(20,97)
2930	Aparatos de uso doméstico	(20,3)
2915	Equipo de elevación y manipulación	(25,61)
2919	Otros tipos de maquinaria	(22,24)
3190	Otros tipos de equipo eléctrico	(27,01)
3120	Aparatos de distribución y control de energía eléctrica	(18,24)
3410	Vehículos automotores y sus motores	(15,9)
3420	Carrocerías para vehículos automotores, fabricación de remolques y semirremolques	(21,79)
3530	Fabricación de otros tipos de equipos de transporte	(17,5)

Cuadro 3 (continuación)

Crecimiento en las ventas de productos viejos de firmas innovadoras en productos (2011-2012)

CIU	Descripción	Variación porcentual
Alta tecnología		
3591	Motocicletas	(18,71)
3320	Instrumentos ópticos y equipo fotográfico	(27,93)
Baja tecnología		
1593	Producción de malta, elaboración de cervezas y otras bebidas malteadas	(25,33)
1543	Alimentos para animales	(16,25)
1530	Lácteos	(15,45)
1551	Panadería y galletería	(13,62)
1541	Productos de molinería	(10,14)
1511	Conservación de carne y derivados	(9,72)
1521	Frutas, legumbres y hortalizas	(7,33)
1512	Conservación de pescado y derivados	(4,88)
1522	Aceites y grasas vegetales y animales	(3,12)
1542	Almidones y derivados	(40,67)
1741	Confección de artículos, excepto prendas de vestir.	(21,57)
1939	Fabricación de maletas, bolsos, artículos similares, de talabartería y guarnición de cualquier material	(69,12)
1926	Partes del calzado	(29,25)
2232	Fotomecánica y análogos	(54,5)
3619	Fabricación de muebles	(26,58)
3614	Colchones y similares	(24,36)
3613	Fabricación de muebles	(22,29)
2694	Cemento, cal y yeso	(21,56)
2721	Básicas de metales preciosos	(6,4)
2812	Tanques, depósitos y recipientes de metal	(36,74)
2892	Fabricación de otros productos de metal y actividades de servicios relacionadas con el trabajo de metales	(32,8)

Fuente: cálculos de los autores.

El estudio econométrico se hizo con todas las firmas y también se diferenció entre firmas de alta y baja tecnología; para ello se adoptó la clasificación de Eurostat. Adicionalmente, se analiza la generación de empleo en firmas exportadoras o no exportadoras. Por último, se compara la generación de empleo haciendo diferencia entre trabajo altamente calificado y no calificado. El primero se definió, según la clasificación de la EDIT, como aquellas personas que completaron estudios técnicos o más elevados.

4.1 Para el modelo econométrico

4.1.1 El instrumento de preferencia

Como se mencionó antes, la variable *crecimiento en las ventas por productos nuevos*, g_2 , reemplaza un término por una contraparte que incluye un término de error, w_{2t} , y no tiene en cuenta plenamente las posibles diferencias de precios de productos nuevos y viejos, lo que crea, por lo menos, un problema de correlación por error de medida. Una adecuada instrumentación de g_2 debería evitar cualquier sesgo.

Las firmas dan una serie de respuestas en la encuesta acerca del alcance de la innovación en producto. Dichas respuestas se pueden interpretar como algo que caracteriza la naturaleza de la innovación que se hace. En particular, las firmas contestan qué tan importante ha sido la introducción de innovación en producto para generar un mayor *rango de productos, una mayor participación en el mercado o una mejora en la calidad de los productos*. Las variables se codifican como cero si la innovación no es relevante para el propósito considerado, uno si el impacto de la innovación es bajo, dos si es mediano y tres si es alto. Nuestro instrumento preferido es el indicador de *incremento en el rango* (de productos). Este instrumento también resultó ser el preferido en el estudio de Harrison *et al.* (2008) para cuatro países europeos.

De un lado, el grado en el cual la innovación en producto está orientada a incrementar el rango de productos probablemente está correlacionado con el planeamiento (I&D, diseño, exploración de mercadeo...) y las expectativas de ventas. De otro lado, el ensanchamiento del rango de productos no implica ninguna dirección particular del cambio en precios (*incremento en su participación en el mercado* probablemente está correlacionada con precios más bajos y *la mejora de la calidad* posiblemente con precios más altos). Adicionalmente, es improbable que el *rango de productos* esté correlacionado con choques de productividad no anticipados².

También verificamos la validez del instrumento preferido en la práctica mediante el análisis de robustez que se presenta en la sección 8. Además, la estrategia econométrica utilizada en variables instrumentales garantiza la consistencia de los estimadores. Esto último porque en los métodos basados en MCO_IV, que utiliza el criterio de convergencia, no se puede garantizar la consistencia de los parámetros con instrumentos débiles. Asimismo presentamos resultados con otros instrumentos apropiados (descritos abajo). De acuerdo con las pruebas de robustez, el instrumento *incremento en el rango* es el instrumento estadístico preferido.

4.1.2 Instrumentos alternativos para probar endogeneidad

Otro instrumento que se utilizó basado en la respuesta de las firmas en la EDIT, fue la pregunta acerca de la importancia de los *clientes como una fuente de información sobre*

² Algunos instrumentos como la tasa de cambio real o si la firma es multinacional o las importaciones del sector probablemente están correlacionadas con los precios.

innovación. Aquí las firmas contestan si utilizan clientes como una fuente de información para la innovación o no. La variable toma el valor de 0 si la firma reporta que no utiliza clientes como fuente de información para la innovación, y 1, 2 o 3 si ha sido de baja, media o alta importancia. Finalmente, también se utilizó el indicador de *inversión continua en R&D* durante el período de análisis; ésta es una variable *dummy* que toma el valor de 1 si la firma reporta que realizó actividades de I&D. *A priori* estas variables son válidas y pueden estar correlacionadas tanto con el crecimiento en las ventas esperadas por nuevos productos, como con la innovación en proceso que se quiere predecir cuándo se instrumentó g_2 ($v d$).

5. Resultados

En el Cuadro 4, panel A, se encuentran los principales resultados de las estimaciones para el empleo total y el empleo calificado y no calificado. Lo primero que se observa es que el intercepto α_0 , que mide el crecimiento promedio de la productividad en la producción de productos viejos por parte de firmas que no hacen ninguna innovación, es negativo. Esto indica crecimientos en productividad importantes. Recuérdese que un coeficiente negativo de α_1 en el indicador de innovación en procesos únicamente representa un incremento adicional en productividad (y, por lo tanto, efecto desplazamiento) en la producción de productos viejos. En cuanto a los coeficientes α_1 y β que corresponden a los efectos brutos de la innovación en procesos únicamente y el efecto de la innovación en producto sobre el empleo, respectivamente. El coeficiente $\alpha_1 = 0,718$ es positivo e indica que en el efecto neto de la innovación en proceso, el aumento en la demanda por productos viejos atribuible a la disminución de costos y precios predomina sobre el efecto desplazamiento del incremento en la productividad. En el Cuadro 4, panel B, se analiza la robustez de los resultados si se incluye como un instrumento adicional la interacción entre la innovación en proceso y la innovación en producto. Como se puede observar, los resultados son robustos.

Cuadro 4

A. Efecto de la innovación en el empleo

Instrumento: incremento del rango

		Parámetro	Media	Desviación estándar	Percentil	
					5%	95%
Empleo total	Constante	α_0	(0,924)	1,653	(3,68)	1,72
	Innovación en procesos únicamente (d)	α_1	0,718	0,882	(0,74)	2,14
	Crecimiento de las ventas debido a productos nuevos (g_2)	β	1,329	0,077	1,2	1,5
Empleo calificado	Constante	α_0	1,634	1,42	(0,74)	3,94
	Innovación en procesos únicamente (d)	α_1	(0,611)	0,668	(1,67)	0,53
	Crecimiento de las ventas debido a productos nuevos (g_2)	β	1,299	0,058	1,2	1,4

Cuadro 4 (continuación)

A. Efecto de la innovación en el empleo

Instrumento: incremento del rango

		Parámetro	Media	Desviación estándar	Percentil	
					5%	95%
Empleo no calificad	Constante	α_0	(1,513)	1,696	(4,34)	1,33
	Innovación en procesos únicamente (d)	α_1	0,868	0,974	(0,77)	2,46
	Crecimiento de las ventas debido a productos nuevos (g_2)	β	1,309	0,082	1,2	1,4

B. Efecto de la innovación en el empleo

Instrumento: incremento del rango con interacción de la innovación en los procesos y el crecimiento de las ventas por nuevos productos

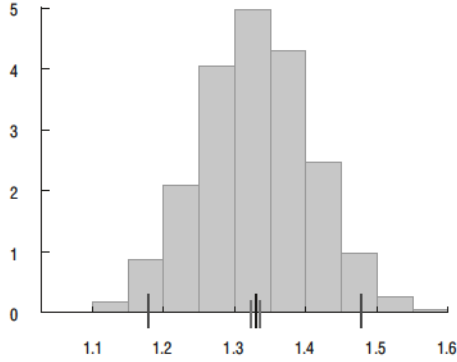
		Parámetro	Media	Desviación estándar	Percentil	
					5%	95%
Empleo total	Constante	α_0	(0,954)	1,721	(3,82)	1,78
	Innovación en procesos únicamente (d)	α_1	1,59	0,853	0,17	3
	Crecimiento de las ventas debido a productos nuevos (g_2)	β	1,278	0,07	1,2	1,4
Empleo calificad	Constante	α_0	1,557	1,442	(0,86)	3,89
	Innovación en procesos únicamente (d)	α_1	0,317	0,63	(0,69)	1,33
	Crecimiento de las ventas debido a productos nuevos (g_2)	β	1,237	0,051	1,2	1,3
Empleo no calificad	Constante	α_0	(1,558)	1,809	(4,58)	1,44
	Innovación en procesos únicamente (d)	α_1	1,694	0,937	0,17	3,17
	Crecimiento de las ventas debido a productos nuevos (g_2)	β	1,266	0,076	1,1	1,4

Fuente: cálculos de los autores, incluyen 21 *dummies* de industria.

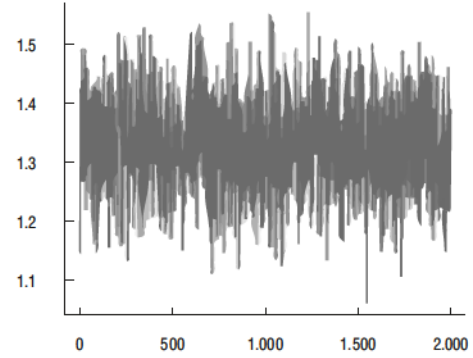
En cuanto al parámetro β , recuérdese que este mide la eficiencia relativa en la producción de productos viejos y nuevos. Este coeficiente mayor que uno indica que no hay evidencia que los productos nuevos se produzcan con mayor eficiencia que los viejos. Como se mencionó en la sección 3.3.1, cualquier endogeneidad (debido a cambio en precios no observada o correlación con los choques de productividad no-tecnológicos) tenderá a producir un sesgo hacia abajo en este parámetro. Sin embargo, como se puede observar en las estimaciones el coeficiente es mayor que uno. Para verificar la precisión en la estimación de β , en el Gráfico 1 (paneles A-C), se muestra la distribución del parámetro para el empleo total y los correspondientes gráficos de convergencia y función de autocorrelación que indican que la cadena de Markov es estacionaria (resultados similares se obtienen para todas las estimaciones).

Gráfico
Estadísticas del coeficiente β

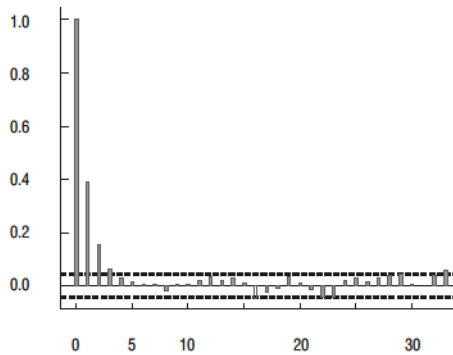
A. Distribución



B. Convergencia



C. Función de autocorrelación



Fuente: cálculos de los autores.

Al diferenciar entre empleo calificado y no calificado (siendo trabajo calificado el 30% del empleo) hay una diferencia en el signo del parámetro α_1 . En el caso del empleo calificado este es negativo, lo cual indica que el efecto desplazamiento de la innovación en proceso es mayor que el efecto positivo sobre el empleo del aumento en la demanda por disminución de precios. Por el contrario, para el caso del trabajo no calificado, el efecto compensación de la innovación en procesos es mayor al efecto desplazamiento. Ello puede deberse al hecho que en el caso del empleo calificado, las empresas con ganancias en productividad no tienden a pasar el resultado a los hogares en términos de menores precios sino que tienden a incrementar los salarios. Por su parte, la estimación del parámetro β es muy similar para los dos tipos de empleo, alrededor de 1,3, lo cual indica que no hay evidencia de ganancias de productividad ni efecto desplazamiento asociados con innovación en producto.

Siguiendo con los resultados para la industria de alta y baja tecnología, en el Cuadro 5 se observa que no existe diferencia entre los resultados para las firmas de alta y baja tecnología. Del mismo modo, en el Cuadro 6 se observa que los resultados entre las firmas exportadoras y no exportadoras son similares. Cabe resaltar que en todas las estimaciones el parámetro β fue mayor que uno y su estimación tiene una desviación estándar muy baja. Esto confirma, como se había sugerido en las estadísticas descriptivas, que hay evidencia que la innovación en producto es un determinante importante en el crecimiento del empleo en Colombia. Por el contrario, la subdivisión de la muestra en estas categorías resulta en un coeficiente α_1 con una desviación estándar muy alta, lo que hace incierto el resultado de la innovación en proceso a estos niveles.

Cuadro 5
Efecto de la innovación en el empleo por nivel tecnológico

	Parámetro	Alta tecnología				Baja tecnología			
		Media	Desviación estándar	Percentil		Media	Desviación estándar	Percentil	
				5%	95%			5%	95%
1. Instrumento: incremento del rango									
Constante	α_0	(0,282)	2,126	(3,680)	3,33	(1,423)	2,608	(5,72)	3,03
Innovación en procesos únicamente (d)	α_1	0,248	1,843	(2,830)	3,25	0,779	1,060	(0,94)	2,51
Crecimiento de las ventas debido a productos nuevos (g_2)	β	1,169	0,115	0,980	1,36	1,425	0,099	1,27	1,59
2. Instrumento: incremento del rango con interacción de la innovación en procesos y el crecimiento de las ventas por productos nuevos									
Constante	α_0	(0,336)	2,077	(3,84)	3,11	(1,418)	2,628	(5,77)	2,84
Innovación en procesos únicamente (d)	α_1	0,183	1,829	(2,71)	3,31	0,806	1,054	(0,85)	2,56
Crecimiento de las ventas debido a productos nuevos (g_2)	β	1,167	0,114	0,98	1,36	1,4	0,1	1,25	1,59

Fuente: cálculos de los autores, incluyen 21 *dummies* de industria.

Cuadro 6
Efecto de la innovación en el empleo: exportadoras - no exportadoras

	Parámetro	Exportadoras			No exportadoras				
		Media	Desviación estándar	Percentil		Media	Desviación estándar	Percentil	
				5%	95%			5%	95%
1. Instrumento: incremento del rango									
Constante	α_0	(0,407)	2,183	(4,1)	3,22	(1,513)	1,784	(4,48)	1,3
Innovación en procesos únicamente (d)	α_1	(0,952)	1,867	(4)	2,1	1,125	1,054	(0,64)	2,8

Cuadro 6 (continuación)

Efecto de la innovación en el empleo: exportadoras - no exportadoras

	Parámetro	Exportadoras				No exportadoras			
		Media	Desviación estándar	Percentil		Media	Desviación estándar	Percentil	
				5%	95%			5%	95%
Crecimiento de las ventas debido a productos nuevos (g_2)	β	1,269	0,163	1,0	1,5	1,368	0,091	1,2	1,5
2. Instrumento: incremento del rango con interacción de la innovación en procesos y el crecimiento de las ventas por productos nuevos									
Constante	α_0	(0,426)	2,192	(4,0)	3,14	(1,524)	1,773	(4,47)	1,4
Innovación en procesos únicamente (d)	α_1	(0,708)	1,819	(3,7)	2,27	2,364	0,973	0,71	3,9
Crecimiento de las ventas debido a productos nuevos (g_2)	β	1,26	0,159	1,0	1,5	1,29	0,081	1,2	1,4

Fuente: cálculos de los autores, incluyen 21 *dummies* de industria.

6. Descomposición del crecimiento del empleo

Para resumir los resultados de las regresiones es útil descomponer el crecimiento en el empleo de acuerdo con la contribución de los diversos factores, de la siguiente manera:

$$l = \sum_j (\hat{\alpha}_0 + \hat{\alpha}_{0j}) ind_j + \hat{\alpha}_1 d + [1 - 1(g_2 > 0)](g_1 - \pi_1) + 1(g_2 > 0)(g_1 - \pi_1 + \hat{\beta}g_2) + \hat{u} \quad (7)$$

Donde ind_j denota las *dummies* de la industria y $\hat{\alpha}_{0j}$ sus coeficientes estimados. Así, para una firma dada, el primer componente $\sum_j (\hat{\alpha}_0 + \hat{\alpha}_{0j})$ mide el cambio en el empleo atribuible a la *tendencia de la productividad en la producción de productos viejos* en la industria específica. El segundo componente $\hat{\alpha}_1 d$ estima el cambio en el empleo asociado al *efecto bruto de productividad del proceso de innovación* en la producción de productos viejos. El tercer componente $[1 - 1(g_2 > 0)](g_1 - \pi_1)$ corresponde a cambios en el empleo, asociados al *crecimiento de la producción de productos viejos* para firmas que no introducen productos nuevos. Finalmente, el cuarto $1(g_2 > 0)(g_1 - \pi_1 + \hat{\beta}g_2)$, provee la *contribución neta de la innovación en los productos* (es decir, después de permitir cualquier sustitución de productos nuevos por viejos a lo cual llamábamos ‘canibalización’ de productos viejos). El término de perturbación \hat{u} es el componente residual con media cero. Para cada muestra, el componente del residuo en promedio es igual a cero, por lo cual la tendencia en la producción de productos viejos se puede obtener al sustraer la suma de los otros componentes del crecimiento del empleo promedio.

Al utilizar la especificación preferida para el caso del empleo total se encuentran los resultados informados en el Cuadro 7. Allí, aplicamos esta descomposición a las cuatro muestras de las firmas manufactureras utilizando la proporción de firmas y promedios del Cuadro 2 con los coeficientes obtenidos en el Cuadro 4, panel A, para obtener las correspondientes contribuciones al crecimiento del empleo. En el Cuadro 7 se puede observar que el componente incremental de la productividad, asociada con el parámetro α_0 es la fuente principal de la caída del empleo en este período en Colombia. Las mejoras incrementales en productividad año a año en la producción de los productos existentes es una fuente importante de reducciones en los requerimientos de empleo para un nivel dado de producto. Comparado con América Latina y Europa, el signo de esta contribución es el esperado. Sin embargo, el crecimiento del efecto bruto de la innovación en los procesos en la producción de productos viejos, 0,123, compensa parcialmente la destrucción en el empleo observada (esto, como se dijo antes, puede deberse a la disminución en precios que aumenta la demanda de productos viejos). Cabe anotar que comparando con América Latina y Europa este resultado es opuesto donde el efecto desplazamiento por la innovación en proceso es el predominante. En cuanto a las firmas que no innovaron, la contribución del crecimiento del producto de los productos viejos fue muy baja. Algo similar puede decirse de la contribución al crecimiento del empleo de las firmas que innovaron en producto, pero el impacto es positivo a pesar de la contribución negativa de los productos viejos de las firmas innovadoras.

Cuadro 7
Contribución de la innovación al crecimiento del empleo

	Colombia	Argentina	Chile	Costa Rica	Uruguay	Francia	Alemania	España	Reino Unido
Crecimiento del empleo de las firma	(1,16)	(4)	(2,6)	2,7	(1,1)	8,3	5,9	14,2	6,7
Tendencia de la productividad en la producción de productos viejos	(1,383)	(0,1)	0,2	(5,5)	1,5	(1,9)	(7,5)	(5,7)	(6,8)
Efecto bruto de la innovación en procesos en la producción de productos viejos	0,123	0,1	(0,1)	0,7	(0,2)	(0,1)	(0,6)	0,3	(0,4)
Contribución del crecimiento del producto de los productos viejos	0,01	(4,6)	(1,7)	2	(2,6)	4,8	6	12,2	9
Contribución neta de la innovación en el producto	0,1	0,6	(1)	5,5	0,2	5,5	8	7,4	4,8

Cuadro 7 (continuación)

Contribución de la innovación al crecimiento del empleo

	Colombia	Argentina	Chile	Costa Rica	Uruguay	Francia	Alemania	España	Reino Unido
Contribución de los productos viejos para innovadores en productos	(19,55)	(21,1)	(6,7)	(74,5)	(8,3)	-	-	-	-
Contribución de los productos nuevos para innovadores en productos	19,7	21,7	5,7	80	8,4	-	-	-	-

Fuentes: la información sobre los países de Latinoamérica (a excepción de Colombia) proviene del estudio de Crespi *et al.* (2011).

Los datos de Argentina se toman de la *Encuesta de innovación 1998-2001*.

Los datos de Chile se toman de la regresión agrupada para las encuestas de innovación 1995, 1998, 2001 y 2007.

Los datos de Costa Rica se toman de la *Encuesta de innovación 2006-2007*.

Los datos de Uruguay se toman de la regresión agrupada para las encuestas de innovación 1998-2000, 2001-2003 y 2004-2006.

La información sobre los países de Europa proviene del sector manufacturero en el estudio de Harrison *et al.* (2008).

Los datos para los países europeos fueron tomados de Community Innovation Surveys (CIS3) entre 1998-2000.

7. Robustez de las estimaciones

Para el análisis de robustez de las estimaciones presentadas se utilizaron varios modelos con diferentes instrumentos y combinaciones de ellos. Estos se evaluaron con las pruebas estadísticas de diagnóstico de los modelos bayesianos, las cuales tradicionalmente se basan en el análisis de los gráficos de convergencia y la función de autocorrelación para examinar la calidad de la mezcla de la cadena de Markov, como se explicó en la sección 6. Así como en el caso en que se utilizó el instrumento que mide el incremento rango de bienes y servicios, la mezcla de la cadena de Markov es adecuada y en consecuencia esta converge a la distribución objetivo estacionaria. La dependencia en la cadena de Markov, medida con la función de autocorrelación, sugiere que la mezcla es la mejor en el caso del incremento en el rango.

Adicionalmente, estos gráficos se complementan con pruebas de hipótesis utilizando las siguientes estadísticas: tamaño efectivo de la muestra (TEM), eficiencia relativa del muestreador de Gibbs, error estándar numérico y el intervalo creíble. En los cuadros 8, 9 y 10 se observa que el instrumento incremento en el rango presenta un TEM grande, una eficiencia relativa baja y el error estándar numérico más bajo.

Cuadro 8
Robustez de las estimaciones (α_0)

Instrumentos	Error estándar numérico	Eficiencia relativ	TEM
a. Incremento del rango	0,033	0,703	1.800
b. Incto. rango*proceso	0,040	0,994	1.800
c. Participación en el mercado	0,039	0,909	1.800
d. Calidad	0,034	0,771	1.800
e. Incto. rango*part. mcdo.	0,036	0,824	1.800
f. Part. mercado*calidad	0,038	0,916	1.800
g. Clientes como fte. de información	0,043	1,190	900
h. Esfuerzo en I&D	0,041	1,080	900

Fuente: cálculos de los autores.

Cuadro 9
Robustez de las estimaciones (α_1)

Instrumentos	Error estándar numérico	Eficiencia relativ	TEM
a. Incremento del rango	0,021	0,874	1.800
b. Incto. rango*proceso	0,027	1,310	900
c. Participación en el mercado	0,027	1,329	900
d. Calidad	0,024	1,017	900
e. Incto. rango*part. mcdo.	0,028	1,377	900
f. Part. mercado*calidad	0,033	1,880	900
g. Clientes como fte. de información	0,019	1,100	900
h. Esfuerzo en I&D	0,024	1,570	900

Fuente: cálculos de los autores.

Cuadro 10
Robustez de las estimaciones (β)

Instrumentos	Error estándar numérico	Eficiencia relativ	TEM
a. Incremento del rango	0,003	2,949	600
b. Incto. rango*proceso	0,004	3,281	450
c. Participación en el mercado	0,004	3,141	450
d. Calidad	0,003	2,454	600
e. Incto. rango*part. mcdo.	0,003	2,656	600
f. Part. mercado*calidad	0,003	3,524	450
g. Clientes como fte. de información	0,003	2,100	600
h. Esfuerzo en I&D	0,004	2,900	600

Fuente: cálculos de los autores.

Con respecto a la robustez de las estimaciones presentadas aquí comparadas con metodologías alternativas como MCO, como se mencionó antes, si la innovación tecnológica está correlacionada con los choques de productividad w_p y, por lo tanto, correlacionados negativamente con u_p , se obtendría un sesgo hacia abajo en los coeficientes de d y de y_2 . Esto es particularmente problemático en el caso de la innovación en producto, ya que la misma estará correlacionada con los choques de productividad y surgen problemas de endogeneidad que hacen necesario el uso de variables instrumentales. La estrategia bayesiana con instrumentos utilizada en este estudio permite no solo tener estimadores consistentes, sino además considerar la incertidumbre que se tiene de la correlación entre el error aleatorio y el instrumento usado.

Para establecer la robustez de los resultados, en comparación con otros métodos econométricos alternativos, se hizo la estimación mediante MCO y los resultados se presentan en el Apéndice A. Como se aprecia allí, el resultado más sobresaliente es que el coeficiente β resulta menor que uno, lo cual es consistente con el sesgo hacia abajo producido por el problema de error-en-variable del que se habló antes. Por lo tanto, se justifica el uso de variables instrumentales.

8. Consideraciones finales

Las relaciones teóricas con respecto a la relación entre la innovación tecnológica y el empleo muestran que la innovación tecnológica puede ser una fuente de creación o de destrucción de empleo. Por consiguiente, determinar el efecto de la innovación sobre el empleo resulta ser un problema empírico.

En este documento se presenta evidencia del efecto de la innovación en el crecimiento del empleo en Colombia utilizando información a nivel de firma para el periodo 2011-2012. Nos basamos en un modelo estructural sencillo, pero que tiene las relaciones básicas planteadas por diversos modelos teóricos, a saber, el efecto de la innovación en proceso puede tener un efecto desplazamiento o compensación y el de la innovación en producto, cuyo efecto también puede ser positivo o negativo.

Para Colombia, lo que se observa en los datos es que tanto el crecimiento en el empleo, como en las ventas de las firmas innovadoras es mayor al de las firmas no innovadoras. Esto es particularmente cierto para el caso de las firmas innovadoras en producto. En cuanto al resultado de las estimaciones econométricas, en las cuales se utilizaron técnicas bayesianas, se encontró que el crecimiento promedio del empleo en el país está asociado positivamente con la innovación en proceso, probablemente debido a la disminución de precios que expande la demanda de productos y el empleo. De manera aún más concluyente, se encontró que la innovación en producto es una fuente importante de generación de empleo a nivel de empleo total y también cuando subdividimos la muestra entre trabajo calificado y no calificado o, firmas de alta tecnología y baja tecnología y firmas exportadoras y no exportadoras. Estos resultados sugieren alta complementariedad entre los factores de producción para el caso de Colombia.

Es importante anotar que la generación de empleo por innovación en producto cuando la firma produce más de un bien tiene dos componentes cuyo efecto va en dirección opuesta: cuando una firma expande la producción de un producto nuevo puede desplazar

la producción de productos viejos. Encontramos que en Colombia, a pesar de que las ventas de productos nuevos parecen ‘canibalizar’ las ventas de productos viejos en alguna medida, el impacto de la innovación en producto sobre el crecimiento del empleo es positivo.

Además, se debe resaltar que el alcance del documento es acerca de la relación entre innovación y empleo a nivel de firma y las conclusiones a nivel microeconómico no se pueden llevar de manera trivial al nivel agregado de la industria o del país. En particular, los efectos compensación a nivel de firma no distinguen entre el componente de pura expansión de mercado del componente de “robo-del-negocio” de firmas rivales. Sin embargo, los resultados del promedio del empleo a nivel de firma observados en el estudio ya contemplan los efectos de la demanda por “robo-del-negocio” por firmas rivales, aun si no sabemos su identidad o si se observan en esta muestra. Ello significa que, en promedio, los efectos de “robo-de-negocio” tienden a cancelarse. No obstante, esto no sucede necesariamente a un nivel más desagregado: no se puede identificar, por ejemplo, el grado en el cual la innovación por firmas innovadoras resulta en “robo-del-negocio” de firmas no-innovadoras en lugar de expansión del mercado.

Finalmente, el presente documento da algunas luces sobre las ventajas de la implementación de políticas que promuevan la innovación tecnológica no solo en términos de la generación de empleo a nivel de firma sino, además, para lograr una mejor preparación del sector industrial ante la competencia internacional en el marco de los recientes acuerdos de libre comercio. En particular, los hallazgos con respecto al bajo proceso de ‘canibalización’ de productos viejos por parte de los productos nuevos en los sectores de alta tecnología permiten concluir que en términos de competitividad los retornos de la innovación tecnológica podrían ser altos.

Referencias

- Benavente, J. M.; Lauterbach, R. (2008). “Technological Innovation and Employment: Complements or Substitutes?”, en *The European Journal of Development Research*, vol. 20, núm. 2, pp. 318-329.
- Crespi, G.; Tacsir, E. (2011). “Effects of Innovation on Employment in Latin America”, MPRA Paper 35429, University Library of Munich, Alemania.
- Entorf, H.; Pohlmeier, W. (1990). “Employment, Innovation and Export Activity: Evidence from Firm-Level Data”, en Florens, J., Ivaldi, M. y Laffont, J. (eds.), *Microeconometrics: Surveys and Applications*, pp. 394-415, Oxford.
- Grossman, G. M.; Helpman, E. (1993). *Innovation and Growth in the Global Economy*, vol. 1 of MIT Press Books, The MIT Press.
- Hall, B. H.; Lotti, F.; Mairesse, J. (2007). “Employment, Innovation, and Productivity: Evidence from Italian Microdata”, *NBER Working Papers* 13296, National Bureau of Economic Research, Inc.
- Harrison, R.; Jaumandreu, J.; Mairesse, J.; Peters, B. (2008). “Does Innovation Stimulate Employment? A Firm-Level Analysis Using Comparable Micro-Data from Four European Countries”, *NBER Working Papers* 14216, National Bureau of Economic Research, Inc.

- Klette, J.; Forre, S. E. (1998). "Innovation and Job Creation in a Small Open Economy: Evidence from Norwegian Manufacturing Plants 1982-92", en *Economics of Innovation and New Technology*, vol. 5, núms. 2-4, pp. 247-272.
- Rossi, P.; Allenby, G.; McCulloch, R. (2005). *Bayesian Statistics and Marketing*. Wiley Series in Probability and Statistics, JWS.
- Salter, W. (1966). *Productivity and Technical Change*, Cambridge: Cambridge University Press, 2ª ed.
- Van Reenen, J. (1997). "Employment and Technological Innovation: Evidence from U. K. Manufacturing Firms", en *Journal of Labor Economics*, vol. 15, núm. 2, pp. 255-284.

Apéndice A

Regresiones adicionales

A.1 Regresión MCO

En esta especificación se hizo la estimación de la regresión básica mediante MCO. Los resultados se presentan en el Cuadro A1. En comparación con la estimación del Cuadro 4, para el caso del empleo total, el coeficiente α_1 de *innovación en proceso únicamente* sigue siendo positivo, lo que representa que no hay incrementos adicionales en productividad en la producción de productos viejos y, por lo tanto, el empleo ha aumentado al disminuir los costos y precios. Pero el cambio más notorio es que la estimación mediante instrumentos del Cuadro 4 del coeficiente β de crecimiento en las ventas debido a productos nuevos es mayor que el estimado aquí mediante MCO, lo cual es consistente con la corrección esperada del sesgo hacia abajo del problema de error-en-variable.

A.2 Especificaciones alternativas de innovación en proceso

Hasta el momento, se hizo el supuesto que toda la innovación en proceso de los innovadores en producto se relaciona con la introducción de productos nuevos. En esta sección se consideran dos extremos alternativos para el modelo. En los paneles A y B del Cuadro A2 se presenta la estimación bayesiana para una especificación que supone que toda la innovación en proceso de los innovadores en producto corresponde a la producción de productos viejos, y para una especificación que supone que toda ella corresponde a la producción de productos nuevos y la cual tiene un efecto adicional.

El coeficiente del indicador innovación en proceso y producto en el panel A es positivo, lo que sugiere que la innovación en proceso de los innovadores en producto está asociada con crecimiento en el empleo en la producción de los productos viejos (o crecimientos de productividad más lentos). Sin embargo, al comparar estos resultados con la estimación del Cuadro 4, se observa que mientras el coeficiente de *innovación en proceso únicamente* aumenta, el coeficiente de crecimiento en las ventas debido a productos nuevos es un poco más pequeño, lo que sugiere un crecimiento en el empleo más bajo, asociado con la producción de productos nuevos.

La hipótesis alternativa que la innovación en proceso de los innovadores en producto está, en efecto, asociada con la producción de productos nuevos se prueba en el panel B del Cuadro A2 e incluye una variable en la que interactúa el indicador de *innovación en proceso* con el de *crecimiento en las ventas debido a nuevos productos*. Esto permite que la productividad relativa promedio en la producción de productos viejos y nuevos sea diferente para firmas que también introdujeron innovaciones en proceso. El estimativo es positivo, lo que sugiere que los productos nuevos están asociados con algún aumento de productividad para firmas que de igual modo introdujeron innovación en proceso

Anexo

Cuadro A1
Regresión MCO: empleo total

		Estimador	Desviación estándar	Estadístico <i>t</i>	$Pr(> t)$
Constante	α_0	0,45691	2,60989	0,175	0,861
Innovación en procesos únicamente (<i>d</i>)	α_1	3,57486	0,86771	4,12	3,86e-0,5 ^(***)
Crecimiento de las ventas debido a productos nuevos (g_2)	β	0,82701	0,02346	35,249	<2e-165 ^(***)
Desviación estándar		24,18			
Número de firma		8.681			

Fuente: cálculos de los autores, incluyen 21 *dummies* de industria.

Cuadro A2
Supuestos alternativos sobre la innovación en procesos: empleo total

Variable dependiente: $l - g_1$	A^1					B^2			
	Parámetro	Media	Desviación estándar	Percentil		Media	Desviación estándar	Percentil	
				5%	95%			5%	95%
Constante	α_0	(1,01)	1,70	(3,91)	1,84	(0,92)	1,66	(3,64)	1,65
Innovación en procesos únicamente (<i>d</i>)	α_1	1,46	1,00	(0,25)	3,08	1,24	0,91	(0,24)	2,67
Innovación en procesos y productos		3,90	1,30	1,81	5,96				
Crecimiento de las ventas debido a productos nuevos (g_2)	β	1,20	0,09	1,00	1,30	1,30	0,07	1,20	1,40
Crecimiento en las ventas debido a productos nuevos X Innovación en procesos						0,52	0,47	(0,24)	1,31

¹ El instrumento utilizado corresponde a *incremento del rango*.

² Los instrumentos utilizados son *incremento del rango* e *incremento del rango* interactuado con *innovación en procesos*.

Fuente: cálculos de los autores, incluyen 21 *dummies* de industria.