

Coneixement, robòtica i productivitat a la PIME industrial catalana: evidència empírica multidimensional

Joan Torrent-Sellens (autor de correspondència)

Estudis d'Economia i Empresa, Universitat Oberta de Catalunya (UOC)

Avinguda del Tibidabo, 39-43, 08035, Barcelona

(+34) 932542108; Fax: (+34) 934505201

jtorrent@uoc.edu

<http://i2tic.net/en/people/joan-torrent-sellens/>

Ángel Díaz-Chao

Department d'Economia Aplicada, Universitat Rey Juan Carlos (URJC)

Paseo de los Artilleros, s.n., 28032, Madrid

(+34) 914888028

angel.diaz@urjc.es

<http://i2tic.net/en/people/angel-diaz/>

Abstract

Aquest treball estudia els nous models de productivitat de la PIME industrial catalana, en especial el paper dels fluxos de coneixement (R+D, innovació i usos d'Internet) i l'ús de la robòtica. A través de dades de panell per unes 250 PIMES industrials en el període 2002-2014, i utilitzant una metodologia de models d'equacions estructurals, la investigació obté quatre resultats principals. Primer, l'evolució de la productivitat i l'ocupació ha estat molt positiva, cosa que no suggereix l'existència d'una recuperació econòmica sense creació d'ocupació (*jobless recovery*). Tot i això, la robotització sí que hauria generat millores d'eficiència amb un cert efecte reemplaçament del factor treball. Segon, els usos de la robòtica determinen un grup reduït de relacions de complementarietat amb els fluxos de coneixement. Específicament, amb la innovació de procés i organitzativa, i amb l'avaluació, l'assessorament i el reclutament de persones per a gestionar el canvi tecnològic. Tercer, la robòtica no té un efecte directe en l'explicació de la productivitat de la PIME industrial. I, quart, els efectes de la robòtica sobre la productivitat són indirectes i s'estableixen a partir de la seva relació de complementarietat amb els fluxos de coneixement. Les PIMES industrials que usen robots presenten un model explicatiu de la productivitat més sofisticat i equilibrat, amb efectes determinats pel coneixement, el factor treball, les exportacions i l'accés a recursos financers especialitzats.

Paraules clau:

Robòtica, coneixement, transformació digital, PIME industrial, productivitat.

1. Introducció

Durant els darrers anys la persistència de notables diferències de productivitat a àmplies mostres d'empreses i de sectors d'activitat d'arreu del món ha impulsat la recerca sobre l'eficiència des de diversos àmbits del pensament econòmic (Syverson, 2011). La recerca en organització industrial ha vinculat la productivitat empresarial amb les forces competitives dels mercats, en especial la rivalitat de productes i mercats (Bloom et al., 2013a). Des del punt de vista intern de l'empresa, s'han identificat tot un conjunt d'elements empresarials de valor, que estarien directament relacionats amb la generació i la difusió del coneixement i que generarien clares externalitats sobre els processos de negoci (Torrent-Sellens, 2015). Ens referim a les activitats de recerca i desenvolupament (R+D), la innovació, i la inversió i l'ús de les tecnologies de la informació i la comunicació (TIC).

Des del treball seminal de Griliches (1979), i sense tenir en compte l'heterogeneïtat de la seva base tecnològica, s'ha confirmat que les activitats d'R+D són crucials per augmentar la capacitat d'absorció tecnològica de les empreses i, a través de la innovació, millorar els nivells de productivitat (Luintel et al., 2014). En aquest context, s'ha destacat la importància de l'R+D internacional per a la productivitat. En comparació amb la innovació domèstica, i a través del coneixement associat amb els productes i serveis intermitjos, el mecanisme de transferència tecnològica internacional genera desbordaments (*spillovers*) i retorns (Ang i Madsen, 2013; Eberhardt et al., 2013). Tanmateix, la recerca sobre l'heterogeneïtat de la productivitat empresarial ha subratllat la necessitat de superar la investigació tradicional en R+D (Aw et al., 2008; Doraszelski i Jaumandreu, 2013) i ha assenyalat també la importància decisiva de la innovació, sobretot a les empreses de menor dimensió (Hall et al., 2009). Aquests resultats suggereixen que les diferents pràctiques d'innovació incideixen sobre la productivitat de manera diversa. La innovació de producte, més vinculada amb la resposta als canvis de la demanda, explica la productivitat de manera més directa (Bernard et al., 2010; Lentz i Mortensen, 2008). En canvi, la innovació de procés, més vinculada amb la generació interna de valor, proporciona una explicació més directa de l'eficiència tècnica de l'empresa (Gunday et al., 2011).

A partir de la segona meitat de la dècada dels noranta, i com a resultat de la resurgència de la productivitat als EUA, la literatura ha evidenciat una importància creixent de la inversió i l'ús de les TIC. S'ha posat de relleu que les tecnologies digitals exerceixen un efecte directe positiu sobre la productivitat agregada a través de la dependència (intensificació) del capital TIC i de les millores d'eficiència (productivitat total dels factors) al sectors que produeixen aquestes tecnologies. En canvi, els efectes directes de les TIC als sectors intensius en els seus usos han estat més aviat modestos (Jorgenson et al., 2008). Tot i amb això, investigacions més recents han confirmat que el canvi tecnològic induït per les TIC exerceix un ampli conjunt d'efectes sinèrgics al conjunt d'elements de valor de l'empresa (Bloom et al., 2012b; Jorgenson et al., 2016). En el cas de les empreses més petites aquests efectes sinèrgics de les TIC sobre la productivitat serien, en la majoria d'ocasions, indirectes (Díaz-Chao et al., 2015). Per últim, la literatura ha assenyalat que els avenços en productivitat també poden ser impulsats a través de la connexió entre empreses. Aquests desbordaments estarien relacionats amb els mecanismes d'aglomeració (particularment la densitat dels mercats de factors) i la transferència de coneixement (entre empreses líders i les seves seguidores, o entre empreses i els seus veïns més immediats). Aquests mecanismes inclourien la convergència en productivitat a través de l'expansió dels fluxos de coneixement dins

l'activitat d'R+D (Griffith et al., 2006), la transferència de tecnologia (Bartelsman et al., 2008) o la inversió directa estrangera (Keller i Yeaple, 2009).

Per bé que els robots industrials ja fa molt temps que han estat introduïts a l'activitat productiva, durant els darrers anys la seva vinculació amb la intel·ligència artificial i les tecnologies de la segona onada digital (com l'aprenentatge de les màquines, Internet de les coses, computació al núvol, grans dades o impressió 3D, entre altres) ha generat un renovat interès acadèmic pels seus efectes sobre la productivitat i l'ocupació (Autor, 2015; Pratt, 2015). Observant la productivitat, l'evidència disponible ens suggereix una clara relació entre la densitat robòtica (robots per hores treballades), la productivitat del treball i el creixement econòmic durant el període anterior a la darrera crisi econòmica iniciada el 2007 (Graetz i Michaels, 2015). Tot i amb això, la manifestació d'un clar alentiment (*slowdown*) de la productivitat agregada durant els darrers anys a la majoria d'economies més avançades del món ha obert, una vegada més, el debat dels efectes de les diferents onades tecnològiques (especialment la darrera onada de la digitalització) sobre la dinàmica de la productivitat (Syverson, 2017). Les visions més optimistes suggereixen que les onades de la digitalització i l'automatització continuen conduint-nos cap a nous models de negoci disruptius i cap a noves fases del creixement de la productivitat (Brynjolfsson i McAfee, 2012; Mokyr, 2014). Per un altre costat, els punts de vista més pessimistes suggereixen que la primera onada de la digitalització (TIC i Internet no interactiu) ja hauria finalitzat els seus efectes sobre la productivitat, mentre que la incidència de la segona onada encara no s'estaria percebent (Gordon, 2012). En aquest context, per al nivell empresarial la poca evidència disponible assenyalava clars increments en la dispersió de la productivitat. Es consolida una distància creixent entre les empreses que estan a la frontera de la innovació i la digitalització, i el gran grup d'empreses restants que les segueixen (Andrews et al., 2016).

La recerca macroeconòmica també ha introduït diversos components microeconòmics per a clarificar les diferències de productivitat agregada. L'evidència confirma que la presència als mercats internacionals, tant a través de la importació de factors com a través de l'exportació de productes, exerceix una pressió competitiva que podria impulsar la productivitat. Aquesta pressió s'associa, en el cas de les importacions, amb un major o més barat accés als factors de producció o d'innovació (Bloom et al., 2013b) i, en el cas de les exportacions, amb les economies d'aprenentatge que genera l'entrada i la consolidació als mercats d'exportació (De Loecker i Van Biesebroeck, 2016).

L'economia del treball també ha contribuït significativament en l'explicació de les diferències de productivitat del treball entre empreses. En aquest context, s'ha posat de relleu la importància del capital humà i l'aprenentatge (Fox i Smeets, 2011; Konings i Vanormelingen, 2015), dels sistemes organitzatius d'elevat rendiment i les relacions laborals flexibles (Bloom et al., 2012a), de les pràctiques conjuntes i innovadores de recursos humans (Guest, 2011; Jiang et al., 2012), i de la interacció social entre treballadors (Bandiera et al., 2009). La literatura de l'estratègia empresarial també ens ha proveït d'evidència sobre com les pràctiques directives (Bloom i Van Reenen, 2010), l'experiència empresarial (Kellogg, 2011) o els diferents perfils dels directius (Kaplan et al., 2012; Malmendier i Tate, 2009) expliquen la productivitat. En aquest context, la productivitat també es vinculava amb les decisions estratègiques sobre l'estructura empresarial, en particular la descentralització (Acemoglu et al., 2007) i deslocalització cap a empreses i plantes de producció més eficients (Bartelsman et al., 2013; Foster et al., 2008).

Acabem de constatar que els factors impulsors de la productivitat empresarial són múltiples i complexos. Durant els darrers anys, la literatura ha intentat explicar les fonts i les diferències de la productivitat empresarial en el context competitiu vinculat amb

l'adveniment de l'economia global del coneixement (Venturini, 2015). Aquesta literatura cobreix tant els elements interns de generació de valor com les forces competitives del mercat. Tot i amb això, la majoria d'aquesta evidència pren una aproximació parcial, un focus específic d'anàlisi. Amb la intenció d'ampliar i millorar aquesta parcialitat, el pensament econòmic ha desenvolupat l'enfocament dels efectes desbordament. Aquesta literatura tracta d'entendre l'heterogeneïtat empresarial i els efectes, directes i indirectes, que expliquen la productivitat.

En el context analític dels efectes desbordament del coneixement (*knowledge spillovers*), la recerca que ara introduïm vol aportar nova evidència. Primer perquè es dissenyarà i es contrastarà un model multidimensional que inclou els efectes directes i indirectes que expliquen la productivitat. Segon, perquè s'analitzarà la relació, encara poc investigada, entre els fluxos de coneixement i l'ús de robots industrials en l'explicació de la productivitat. Aquesta interacció s'emmarcarà també dins de l'anàlisi tradicional sobre dels efectes de les exportacions i del capital humà en la determinació de la productivitat. I tercer, perquè la mostra d'empreses seleccionada serà una mostra de PIMES manufactureres de Catalunya. En aquest sentit, el disseny i l'anàlisi d'un model de fonts de productivitat per a les PIMES manufactureres pot ser de força utilitat. Primer, per la possibilitat d'extrapolar la metodologia d'anàlisi a d'altres xarxes de PIMES (les PIMES són l'agent empresarial més nombrós i rellevant a la gran majoria d'economies del món). I segon, perquè els resultats obtinguts seran útils per al disseny i l'avaluació de polítiques públiques i plans estratègics relacionats amb l'emprenedoria, l'acceleració i el creixement empresarial.

L'article s'estructura com s'explica a continuació. A la secció 2 abordarem les principals contribucions de la literatura i presentarem les hipòtesis de recerca. A la secció 3 presentarem la metodologia empírica d'anàlisi. Els resultats econòmics es presentaran a la secció 4. La secció 5 conclourà i discutirà els resultats obtinguts.

2. Literatura i hipòtesis

El paper dels desbordaments del coneixement que la innovació genera sobre la productivitat ha rebut una atenció creixent per part de la literatura, especialment durant la darrera dècada (Keller, 2004). A l'empresa, la innovació genera un output que, en forma de coneixement, pot ser utilitzat en el futur per a la millora de la generació de valor. Com a resultat de la seva naturalesa de bé públic (no rival i poc excludible), el coneixement adquirit amb la innovació dissemina un ampli conjunt d'externalitats (Torrent-Sellens, 2015) que, a través de diversos canals, milloren la productivitat. Tot i amb això, aquestes externalitats del coneixement adopten múltiples formes (Johansson i Lööf, 2015), amb costos de transacció molt sensibles a les distàncies (efecte gravetat), especialment als productes intensius en tecnologia o innovació (Keller i Yeaple, 2013; Robbins, 2006). Quan expliquem la productivitat, els desbordaments del coneixement es relacionen clarament amb l'heterogeneïtat de l'empresa (Bartelsman i Doms, 2000; Dosi et al., 2015).

Tradicionalment, la recerca sobre la dinàmica empresarial ha assumit que la distribució de productivitat és exògena a la presa de decisions i al procés de generació interna de valor. Aquests models de cicle vital postulen que les empreses neixen amb una productivitat inherent i que la seva capacitat per a créixer ve condicionada a través de la relació entre el seu nivell d'eficiència i l'eficiència del mercat. Així, les empreses eficients tendeixen a créixer dins del mercat, mentre que les empreses ineficients, amb nivells de productivitat inferiors a un cert límit, tendeixen a decaure i moren (Aghion et al., 2004). Tanmateix, la literatura del cicle vital de l'empresa ha introduït recentment el concepte

d'heterogeneïtat, una aproximació que posa l'èmfasi a la forma com s'estructura específicament l'activitat de negoci de cada empresa. És a dir, a la relació entre la presa de decisions, la generació interna de valor i la dinàmica de productivitat (Bernard et al., 2010).

Observant els fluxos de coneixement, la vinculació entre l'R+D, la innovació i les TIC ha estat identificada per la literatura com un conjunt d'externalitats internes de coneixement que explicarien la productivitat de l'empresa (Venturini, 2015). El punt d'acceleració d'aquesta literatura s'estableix amb la consolidació de les TIC com a tecnologies d'utilitat general (Venturini et al., 2013). Tanmateix, les TIC no comporten millores generalitzades de productivitat fins que les empreses i els seus treballadors no adquireixen les competències tecnològiques, formatives i d'aprenentatge, estratègiques, organitzatives, laborals i culturals necessàries. En altres paraules, la consolidació de les TIC com a tecnologies d'utilitat general necessita de canvis organitzatius i en els processos de negoci per explotar plenament totes les seves oportunitats de creixement (Díaz-Chao et al., 2016a). En aquest context, els efectes de les TIC sobre la productivitat de l'empresa, particularment a les PIMES, són indirectes. S'estableixen relacions de complementaritat amb altres dimensions, en particular amb el capital humà i la innovació al lloc de treball. Aquests efectes desbordament han estat àmpliament demostrats a la recerca per al nivell empresarial (per a una revisió d'aquesta literatura, vegeu Díaz-Chao et al., 2015; Cardona et al., 2013).

La literatura també proporciona evidència a propòsit d'un altra relació entre les TIC, l'R+D i la innovació. Les tecnologies digitals han augmentat significativament les transferències de fluxos d'R+D, tecnologia i coneixement, cosa que ha resultat en una connectivitat entre les empreses molt més ràpida (Zhu i Jeon, 2007), un avenç dels intercanvis de coneixement científic i d'habilitats emprenedores (Lee, 2006) i una expansió de les fronteres d'innovació (Lee, 2009). En aquest context, l'evidència més recent indica majors avenços de la productivitat empresarial com a resultat de la inversió en R+D i TIC (Hall et al., 2013). L'expectativa d'una relació positiva entre els fluxos de coneixement (capturats a través de les activitats d'R+D, innovació i TIC) i la productivitat de les PIMES es configura com la nostra primera hipòtesi d'investigació:

Hipòtesi 1: A més fluxos de coneixement, major productivitat

Més enllà de la interacció entre les diferents dimensions dels fluxos de coneixement (R+D, innovació i TIC), durant els darrers anys la literatura també ha destacat la importància creixent dels usos de la robòtica i la intel·ligència artificial en l'explicació de la productivitat agregada o sectorial durant els anys immediatament anteriors a la crisi econòmica internacional (Brynjolfsson i McAfee, 2012; Graetz i Michaels, 2015). Tot i amb això, durant i després de la crisi financera i econòmica internacional, i per la majoria d'economies del món, la productivitat ha evolucionat a la baixa (Gordon 2012; Syverson, 2017). Aquest afebliment ha generat, de nou, una important controvèrsia sobre el paper de les onades tecnològiques, especialment la segona onada digital, en l'explicació del creixement de la productivitat. Mentre que algunes investigacions atribueixen aquesta desacceleració als problemes de mesura de la productivitat, resultat de les dificultats per a trobar mètriques correctes dels preus o la qualitat de la tecnologia (Bryne et al., 2016), o la importància creixent dels béns i serveis sense preu intercanviats a les plataformes digitals d'economia col·laborativa (Nakamura i Soloveichik, 2015), la literatura ha posat de relleu que aquesta tendència agregada i a la baixa de la productivitat amaga comportaments empresarials clarament diferenciats.

En una investigació de referència per a una àmplia mostra d'empreses de l'OCDE en el període 2007-2014, Andrews et al. (2016) emfasitzen que la característica més sorprenent de la recent desacceleració de la productivitat no és, com es podria esperar, l'afebliment del rati d'innovació a la frontera global. La sorpresa és l'increment de productivitat a la frontera global. També confirmen un creixement de la divergència de productivitat entre les empreses líders de la frontera global i la resta majoritària d'empreses seguidors. I, suggereixen que aquest increment de les diferències de productivitat entre les empreses líders (cada cop més líders, cada cop més innovadores i cada cop millor situades a la frontera global de la innovació) i les empreses seguidors (cada cop amb més dificultats per a seguir la capacitat d'innovació de les empreses líders de la frontera global) podria reflectir la divergència tecnològica. En aquest sentit, els canvis estructurals de l'economia global, especialment l'automatització i la digitalització, podrien determinar una dinàmica on les empreses guanyadores continuarien augmentant el seu poder de mercat, mentre que les empreses seguidors veurien com la seva capacitat d'adopció de tecnologia s'aniria complicant cada vegada més.

Aquesta evidència connectaria amb els nous resultats de la literatura sobre la productivitat a l'empresa, que assenyalaria una certa relaxació del dinamisme empresarial, males assignacions de recursos i debilitats en la selecció de mercats (Berlingieri et al., 2017), cosa que ens suggereix el plantejament d'una nova hipòtesi que vincula la utilització de la robòtica, com a variable proxy de l'automatització i la segona fase de la digitalització, i la productivitat de l'empresa:

Hipòtesi 2: A més usos de robots industrials, major productivitat

Entre el conjunt de factors interns que determinen els desbordaments del coneixement en l'explicació de la productivitat, la literatura ha remarcat el paper de les habilitats (*skills*) i les noves formes d'organització del treball (Brambilla et al., 2012; Herrmann i Peine, 2011). Així, el lideratge empresarial, dirigir persones amb l'objectiu de desenvolupar les seves habilitats, augmentar el capital humà o fomentar les pràctiques innovadores d'organització del treball, també asseguren els efectes de desbordament del coneixement com a factor explicatiu de la productivitat a les PIMES (Love et al., 2011; Rosing et al., 2011). Aquests resultats s'afegeixen a l'evidència que relaciona directament els costos laborals amb la productivitat (Faggio et al., 2010; Mahy et al., 2011). Uns treballadors més preparats, amb més habilitats i més compromesos generen més retorns, en forma d'innovació i productivitat, per a l'empresa quan reben unes compensacions (salarials o no salarials) més elevades. En sintonia amb aquests arguments, podem esperar que:

Hipòtesi 3: A més costos laborals per treballador, major productivitat

La investigació que analitza la connexió entre el comerç internacional i la productivitat de l'empresa ha fet progressos molt importants durant les darreres dues dècades (Eaton i Kortum, 2002). S'ha evidenciat que els efectes del comerç internacional varien entre empreses i que depenen dels seus nivells de productivitat. El creixement de la productivitat es relaciona amb la selecció de mercats i s'impulsa a través de les millores associades amb el comerç exterior (Bernard et al., 2006). Així, s'ha observat un comportament d'auto-selecció a les empreses més eficients, que explicaria la seva presència i el seu èxit als mercats d'exportació, cosa que redundaria en millores de productivitat a través de les pràctiques d'innovació (Bernard i Jensen, 2004; Wagner, 2007). Aquest cercle virtuós entre els fluxos de coneixement, les exportacions i la

productivitat confirmaria la hipòtesi dels costos enfonsats (*sunk costs*). Només les empreses més eficients estarien preparades per assumir els costos d'entrada i la intensitat de la competència dels mercats d'exportació. Aquests mecanismes de selecció entre les empreses més eficients que volen exportar estarien associats a les decisions prèvies d'inversió, particularment la inversió en innovació. I la innovació, especialment la innovació en producte, augmenta la productivitat, cosa que reforça la presència als mercats d'exportació a través dels mecanismes d'auto-selecció (Aw et al., 2008; Cassiman et al., 2010; Lileeva i Trefler, 2010).

Com a resultat de la debilitat dels mercats interns durant les primeres fases de la innovació i del cicle de vida dels productes, les PIMES, particularment les noves PIMES (*start-ups*), tenen incentius elevats per entrar als mercats d'exportació (Dimitratos et al., 2016; Golovko i Valentini, 2011). Però, els mecanismes a través dels quals els fluxos de coneixement i les exportacions incideixen sobre la productivitat són amplis i complexos (Love i Roper, 2015). Primer de tot, cal assenyalar un comportament estratègic i un procés de generació de valor clarament diferenciat entre les PIMES i les empreses més grans. En general, les PIMES obtenen avantatge competitiu a través de la rapidesa en la presa de decisions, la preparació per a la presa de riscos i la flexibilitat de resposta a les oportunitats del mercat, mentre que les empreses grans generen valor a través de les economies d'escala i d'àmbit, així com de la seva habilitat per a obtenir recursos especialitzats (Audretsch, 2002). Com a resultat d'aquestes dificultats per a accedir a recursos especialitzats, les PIMES depenen críticament dels ecosistemes innovadors on estan inserides.

En segon lloc, la literatura també ha mostrat un cert efecte aprenentatge (*learning effect*) com a resultat del mecanisme d'auto-selecció. Les PIMES exportadores són més eficients que les PIMES no exportadores. Ara bé, això no es pot atribuir totalment als beneficis de l'exportació (més pressió competitiva), ja que també pot tenir a veure amb una productivitat inicial més elevada o amb la capacitat de l'empresa per a superar els costos d'entrada als mercats d'exportació. En aquest context, la literatura específica destaca que els efectes aprenentatge de l'exportació sobre la productivitat són finits i que les PIMES també necessiten aprendre a exportar (Eliasson et al., 2012; Love i Ganotakis, 2013). En qualsevol cas, i més enllà del debat sobre aprendre a exportar o aprendre de les exportacions, l'entrada als mercats d'exportació genera un coneixement que desborda i retorna a l'empresa (Love i Roper, 2015). Així, la relació entre la capacitat d'exportació i la productivitat de les PIMES ha estat àmpliament demostrada per la literatura:

Hipòtesi 4: A més exportacions, major productivitat

Una vegada establertes les hipòtesis sobre els factors directes que incideixen sobre la productivitat de les PIMES, el model explicatiu també contempla tot un conjunt d'hipòtesis per als factors indirectes i les seves interrelacions. Específicament, les relacions indirectes s'estableixen a través d'un conjunt de variables que incideixen sobre els quatre factors explicatius directes de la productivitat. La primera connexió indirecta està relacionada amb els fluxos de coneixement i l'ús dels robots industrials. Com a la primera onada digital, on es van constatar relacions de complementarietat entre els usos de les TIC, el capital humà i la innovació al lloc de treball (Cardona et al., 2013), s'espera que els usos de la robòtica es relacionin amb les activitats de l'empresa que utilitzen més intensivament el coneixement (Seamans i Raj, 2018)

Hipòtesi 5: A més fluxos de coneixement, majors usos de la robòtica industrial

El segon conjunt de connexions indirectes estan relacionades amb la vinculació entre l'accés als recursos especialitzats de l'ecosistema extern, específicament recursos financers, i la dinàmica de la productivitat a les PIMES, tant en èpoques d'expansió com de recessió (Duval et al., 2017). La literatura mostra que la inserció en xarxes de finançament de la propietat empresarial genera un procés de generació de valor més sofisticat i reforça els desbordaments sobre els resultats de les PIMES (Ricci i Trionfetti, 2012; Riding et al., 2012). En aquest sentit, és possible establir un conjunt d'hipòtesis que relacionin els actius financers de l'empresa amb els quatre factors explicatius directes de la productivitat (fluxos de coneixement, robots industrials, costos laborals i exportacions), així com amb el capital humà (despesa externa en formació per treballador):

Hipòtesi 6: A més actius financers, majors fluxos de coneixement

Hipòtesi 7: A més actius financers, majors usos de la robòtica industrial

Hipòtesi 8: A més actius financers, majors costos laborals per treballadors

Hipòtesi 9: A més actius financers, majors exportacions

Hipòtesi 10: A més actius financers, major despesa externa en formació per treballador

Per últim, la literatura també ha posat de relleu una vinculació important entre els fluxos de coneixement i el capital humà especialitzat en l'explicació dels avenços de la productivitat a les PIMES. Particularment, a través del coneixement i les xarxes de transferència de tecnologia (Commacchio et al., 2012), la innovació oberta (Roper et al., 2013; Van de Vrandre et al., 2009) i els mecanismes de triple hèlix (Foreman-Peck, 2013). En concret, s'han identificat tres vies de transmissió. Primer de tot, a través de les tradicionals economies d'aglomeració: fluxos de coneixement local obtinguts a través de relacions socials, mercats de treball específics i ecosistemes productius locals (Combes et al., 2012). En segon lloc, a través de les xarxes de col·laboració que s'estableixen entre organitzacions per a compartir coneixement, en particular coneixement tecnològic o anàlisi de mercats (Glückler, 2013). I en tercer lloc, a través de l'efecte aprenentatge resultat de l'exportació. Als mercats d'exportació, les PIMES poden guanyar quotes de mercat (també als mercats domèstics) i coneixement útil per a la innovació (Love i Ganotakis, 2013). En aquest context, les dues darreres hipòtesis a contrastar són:

Hipòtesi 11: A més despesa externa en formació per treballador, majors costos laborals per treballador

Hipòtesi 12: A més fluxos de coneixement, major despesa externa en formació per treballador

3. Dades i metodologia

3.1. Font d'informació

La font d'informació utilitzada per a l'anàlisi és la *Encuesta sobre Estrategias Empresariales (ESEE)*. La ESEE és una enquesta anual d'un es de 1.800 empreses espanyoles de la indústria manufacturera, elaborada per la *Fundación SEPI* adscrita al *Ministerio de Hacienda y Función Pública del Gobierno de España*. El qüestionari obté informació molt completa sobre l'activitat empresarial, especialment a les àrees de la presa de decisions estratègiques (preus, costos, mercats i inversió) i el procés de generació de valor (capital humà, organització, innovació, R+D, i usos TIC). A més a més, també es presenten els indicadors financers i les ràtios principals dels balanços i dels comptes

de pèrdues i guanys. En aquest context, és important destacar que la ESEE configura un panell d'empreses representatiu de la indústria manufacturera a Espanya i per un ampli període de temps, des del 1990 fins al 2015 (últim any disponible). En conseqüència, aquestes dades de panell ens permeten una aproximació molt detallada a la microeconomia de la productivitat i a l'anàlisi dels canvis de les empreses manufactureres en diferents fases del cicle econòmic (Torrent-Sellens, 2017).

La ESEE conté informació segmentada per les empreses manufactureres amb més de 200 treballadors (grans empreses) i per les empreses entre 10 i 200 treballadors (PIMES). Com a resultat del recull de dades, les PIMES es classifiquen diferent de la manera com ho fa la Comissió Europea (European Commission, 2012). En el cas de la ESEE, el límit usat per a la definició de les PIMES són 200 treballadors, mentre que la Comissió Europea utilitza una dimensió màxima de 250 treballadors. Aquesta diferència es deu al procediment de mostreig utilitzat per la ESEE. En aquesta enquesta, totes les grans empreses manufactureres (més de 200 treballadors) estan incloses a la mostra. En canvi, per a les PIMES (de 10 a 200 treballadors) la ESEE realitza un mostreig estratificat, proporcional i sistemàtic en base al sector d'activitat (classificació nacional d'activitats econòmiques a dos dígit, CNAE-2009). La mostra exclou les micro-empreses manufactureres (9 o menys treballadors).

Per a la construcció dels panells de PIMES manufactureres catalanes, de les mostres originals s'han seleccionat les empreses que ocupen de 10 a 200 treballadors i en què l'establiment on es produeix el producte principal està ubicat físicament en un municipi de Catalunya. Com que algunes de les dades importants per a l'anàlisi, per exemple la utilització de robots industrials, es recullen cada quatre anys, les mostres principals d'anàlisi són quadri-anuals. En concret, les mostres de treball inclouen un panell de 224 PIMES per al 2002, 250 per al 2006, 313 per al 2010 i 269 per al 2014.

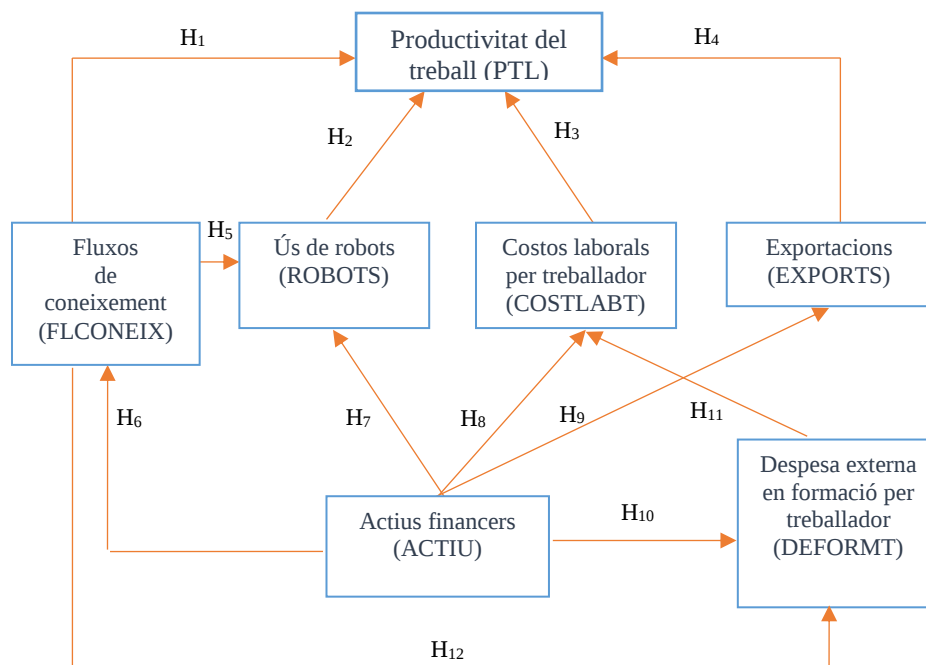
3.2. Model i variables

En sintonia amb l'ampli conjunt de factors (directes i indirectes) que expliquen la productivitat de les PIMES, el nostre model general d'anàlisi estableix 12 hipòtesis de treball. La variable dependent, a estimar, és la productivitat del treball (PTL) de la PIME industrial catalana, aproximada a través del logaritme del valor afegit brut per treballador. A la figura 1 es presenta el model, les variables i les hipòtesis de treball proposades en aquesta investigació.

Amb l'objectiu de contrastar la relació entre els fluxos de coneixement i la productivitat (hipòtesi 1) hem estimat un constructe latent (FLCONEIX), utilitzant set indicadors additius (amb vint variables d'entrada) i un model d'equacions estructurals (SEM) amb errors de mesura. Aquestes set dimensions del constructe latent, que representa als fluxos de coneixement, es refereixen a les activitats empresarials d'R+D, innovació i usos TIC. La construcció d'aquests set indicadors es detalla a continuació. El primer indicador es refereix a la innovació de l'empresa (INNOV). Es tracta d'un indicador additiu que pren 5 valors (de 0 a 4) i que és el resultat de la suma de quatre variables dicotòmiques que recullen l'opinió dels directius de les PIMES a propòsit d'aquesta activitat (valor 1, innovació; i valor 0, no innovació): variable 1, innovació de producte (INPROD); variable 2, innovació de procés (INPROC); variable 3, innovació en organització (INORG); i variable 4, innovació en vendes i màrqueting (INVEN). El segon indicador es refereix a les noves formes d'organització del treball (NFOT). Aquest indicador additiu pren 4 valors (de 0 a 3) i és el resultat de la suma de tres variables dicotòmiques (valor 1, innovació; valor 0, no innovació): variable 5, innovació en els mètodes d'organització del treball (INMOT); variable 6, innovació en la gestió de les

relacions externes, en particular amb proveïdors, clients i distribuïdors (INGREL); i variable 7, innovació de procés resultat de la incorporació de noves tècniques de producció (INPROCNTTP).

Figura 1. Model de la productivitat del treball a les PIMES industrials



Font: Elaboració pròpia.

El tercer i el quart indicadors es refereixen als usos (USWEB) i a les tecnologies (TECWEB) d'Internet a les PIMES manufactureres. Ambdós indicadors additius prenen 4 valors (de 0 a 3) i són el resultat de la suma de tres variables dicotòmiques (valor 1, ús o efecte positiu o disposició de la tecnologia; valor 0, no utilització, sense efecte positiu o no disposició). En relació amb l'ús d'Internet: variable 8, vendes als consumidors finals a través d'Internet (WEBB2C); variable 9, vendes a empreses a través d'Internet (WEBB2B); i variable 10, efecte positiu de les vendes per Internet (WEBPOS). En relació amb les tecnologies d'Internet: variable 11, compres als proveïdors a través d'Internet (WEBCOMP); variable 12, disposició d'una pàgina Web allotjada als servidors de l'empresa (WEBSERP); i variable 13, disposició d'un domini propi a Internet (WEBDOMP).

Per últim, el cinquè, sisè i setè indicadors additius del constructe dels fluxos de coneixement estan relacionats amb l'activitat d'R+D. L'indicador d'activitats d'R+D (AR+D) incorpora una única variable (variable 14), relacionada amb la realització i la contractació d'R+D (RCR+D), i que pren 3 valors (de 0 a 2): 0, ni realitza ni contracta; 1, realitza i no contracta, i contracta i no realitza; i 2, contracta i realitza. El sisè indicador està vinculat amb la tecnologia necessària per la realització d'activitats d'R+D (TECR+D). Aquest indicador additiu pren 4 valors (de 0 a 3) i és el resultat de la suma de tres variables dicotòmiques: variable 15, presència (valor 1, presència; valor 0, no presència) d'un comitè o departament de tecnologia (COMTEC); variable 16, avaluació (valor 1, avaluació; valor 0, no avaluació) de les perspectives de canvi tecnològic per part de la PIME manufacturera (AVPERTEC); i variable 17, ús (valor 1, ús; valor 0, no utilització) de consultors externs per a la informació i l'assessoria tecnològica

(ASSEXTEC). El setè indicador està relacionat amb els recursos emprats per les activitats d'R+D (RECR+D). Aquest indicador additiu pren 4 valors (de 0 a 3) i és el resultat de la suma de tres variables dicotòmiques: variable 18, reclutament (valor 1, reclutament; valor 0, no reclutament) durant el darrer any de personal amb experiència en la gestió d'R+D (RECPERR+D); variable 19, establiment (valor 1, realització; valor 0, no realització) d'acords de cooperació tecnològica amb agents externs (ACOOPTEC); i variable 20, aplicació (valor 1, aplicació; valor 0, no aplicació) d'incentius fiscals a l'activitat d'R+D (APLINFIS).

La hipòtesi 2 postula una relació entre la capacitat de l'empresa per a utilitzar robots i el seu nivell de productivitat del treball. Per a copsar la utilització de robots (ROBOTS) hem emprat una variable dicotòmica que pren dos valors: 0 quan la PIME no els usa, i 1 quan la PIME els usa. Tot i les òbvies restriccions que imposa la utilització d'una variable dicotòmica d'aquest tipus, la seva incorporació al model predictiu ens permetrà fer una important contribució: avaluar l'efecte sobre la productivitat de la PIME del pas entre no usar i usar la robòtica.

La hipòtesi 3 està relacionada amb la capacitat de l'empresa per a augmentar el seu valor afegit per treballador a través de millors retribucions (més costos laborals per treballador (COSTLABT), expressats en logaritmes), i probablement d'una millor qualitat en el treball. La hipòtesi 4 relaciona la capacitat de la PIME per a vendre productes i serveis als mercats internacionals (logaritme de les vendes per exportacions, EXPORTS) i el seu nivell de productivitat del treball. Aquesta hipòtesi suggereix una capacitat creixent de l'empresa per augmentar la productivitat a través de les economies d'aprenentatge obtingudes a través de la seva presència als mercats internacionals. La hipòtesi 5 estableix relacions de complementarietat entre els fluxos de coneixement i l'ús de robots. Estimem que les PIMES més intensives en la realització d'activitats d'R+D, innovació i usos TIC són més propenses a la utilització de robòtica. De la sisena a la novena hipòtesis, així com la hipòtesi 11, suggereixen que un millor accés a recursos especialitzats, en especial recursos financers (ACTIU, expressat en logaritmes) implicaria més productivitat de les PIMES a través d'uns majors usos dels fluxos de coneixement i de la robòtica, d'uns costos per ocupat, unes exportacions i uns despeses de formació més elevades. Finalment, les hipòtesis 10 i 12 exploren la relació entre el capital humà (capturat a través del logaritme de la despesa externa en formació per treballador, DEFORMT), els costos laborals i els fluxos de coneixement.

3.3. Metodologia d'estimació

La productivitat del treball (PTL) de la PIME industrial catalana s'ha estimat emprant un model d'equacions estructurals (SEM) amb variables observades i latents, i amb errors de mesura (Hooper et al., 2009). El model SEM utilitzat és bietàpic. A la primera etapa hem estimat el constructe latent relatiu als fluxos de coneixement a través d'un SEM amb set indicadors additius, construïts a partir de vint variables d'entrada. Aquests set indicadors recullen l'activitat innovadora (INNOV), les noves formes d'organització del treball (NFOT), els usos (USWEB) i la tecnologia (TECWEB) d'Internet, i les activitats (AR+D), la tecnologia (TECR+D) i els recursos (RECR+D) de la recerca i el desenvolupament de la PIME industrial catalana. Una vegada s'ha construït l'indicador latent dels fluxos de coneixement (FLCONEIX), a la segona etapa del SEM s'estimen els efectes directes i indirectes que incideixen sobre la productivitat del treball (figura 1). Aquesta metodologia, molt emprada en la investigació sobre la productivitat de les PIMES (Díaz-Chao et al., 2015, 2016b), ens permet avaluar els factors directes

explicatius de la productivitat, però també els factors indirectes, de desbordament, que incideixen sobre l'eficiència de la PIME industrial.

El model s'ha estimat per als anys 2010 (crisi econòmica) i 2014 (inici de la recuperació) amb l'objectiu d'avaluar també l'efecte del cicle econòmic en l'explicació de la productivitat de les PIMES. Aquesta metodologia economètrica ha implicat el disseny i el contrast de 8 models: 1 per la primera etapa relativa als fluxos de coneixement, i 6 per la segona etapa relativa al model de productivitat: 3 models per al 2010 (total PIMES, PIMES que no usen robots i PIMES que usen robots) i 3 models per al 2014 (total PIMES, PIMES que no usen robots i PIMES que usen robots).

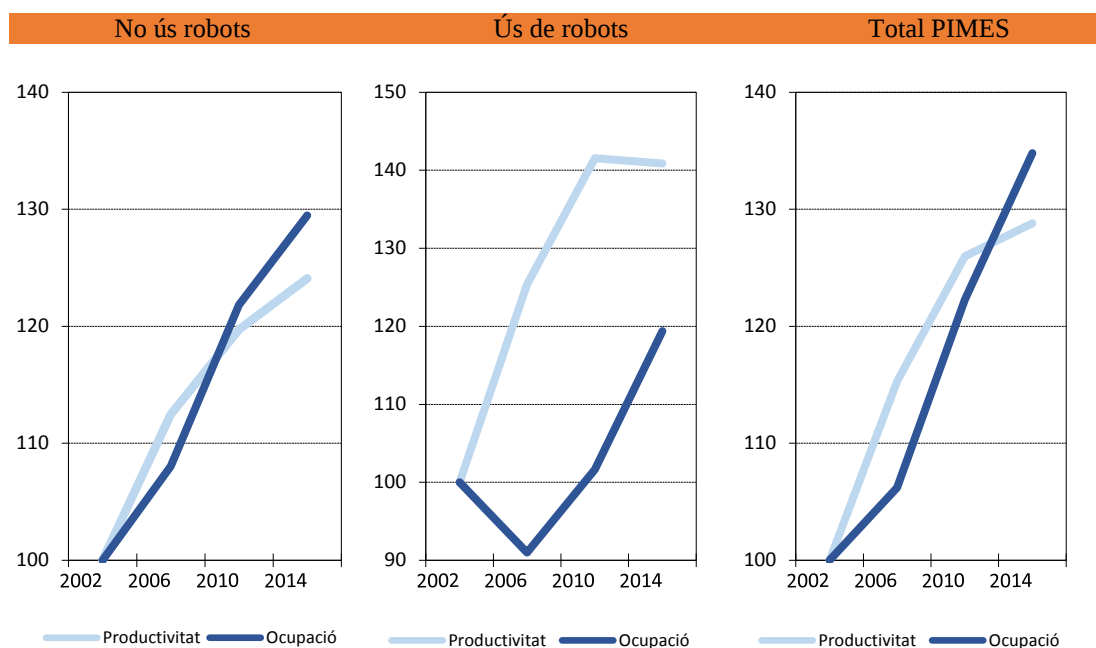
4. Resultats

4.1. Estadística descriptiva

A la figura 2 es presenten l'evolució de la productivitat i l'ocupació de la PIME industrial catalana entre el 2002 i el 2014 en funció dels usos de la robòtica. El primer que cal fer notar és que, tot i la duresa de la crisi econòmica que engloba bona part d'aquest període, les PIMES catalanes han presentat una tendència clarament positiva tant de la productivitat com de l'ocupació, cosa que no sembla suggerir, al menys per aquest extracte de la dimensió empresarial, l'existència d'una recuperació econòmica sense una notable creació d'ocupació (*jobless recovery*). En efecte, en termes acumulats i des del 2002 fins al 2014, la productivitat de la PIME catalana hauria crescut d'un 28,8% (2,4% en termes mitjans anuals), clarament per sota de l'ocupació, amb un increment acumulat del 34,8% (2,9% en termes mitjans anuals). En sintonia amb la desacceleració de la productivitat observada durant els darrers anys, destacar també que a partir del 2010 l'avenç de la productivitat de la PIME catalana s'alenteix notablement (2,2% de creixement acumulat en 2010 i 2014, davant del 26% entre el 2002 i el 2010).

La segmentació de les mostres de PIMES en funció dels usos de la robòtica també ens ofereixen tot un conjunt de resultats molt interessants. En primer lloc, desmuntar la idea que, a les PIMES, la utilització dels robots s'associa amb la destrucció de llocs de treball. Tot i la crisi, el creixement de la creació de llocs de treball a les PIMES industrials catalanes que usen robots es va situar a l'entorn del 20% acumulat entre 2002 i 2014 (1,6% en termes mitjans anuals). Això sí, la introducció de la robòtica a la PIME industrial s'associa molt més clarament amb augments de productivitat que d'ocupació. Entre 2002 i 2014 el creixement de la productivitat del treball a les PIMES industrials catalanes que usen robots es va situar al voltant del 40% acumulat (3,3% anual). Aquest creixement de l'eficiència, que s'ha pràcticament estabilitzat des del 2010, dobla el creixement de l'ocupació en el mateix període. I, en segon lloc, ara en comparació amb la dinàmica de la productivitat i l'ocupació de les PIMES industrials que no usen la robòtica, es pot afirmar que els usos de robots incentiven comparativament una dinàmica d'eficiència estalviadora de treball. En efecte, mentre que l'avenç de la productivitat s'ha situat clarament per sobre a les PIMES que usen robots (40,9% de creixement entre 2002 i 2014, davant del 24,1% de les PIMES no robotitzades) en el cas de l'ocupació generada succeeix just el contrari (19,4% de creixement acumulat entre 2002 i 2014, davant del 29,5% de les PIMES no robotitzades). Així podem concloure afirmant que la robotització de les PIMES industrials catalanes s'associa amb millores de productivitat que superen àmpliament la creació de llocs de treball, i amb un cert efecte reemplaçament del treball, sobretot si tenim en comte la tendència general observada i que a les PIMES no robotitzades ha succeït tot el contrari.

Figura 2. Evolució de la productivitat i l'ocupació a la PIME industrial catalana, en funció dels usos de la robòtica. 2002-2014
(Base 100=Productivitat del treball (VAB per treballador) i ocupats del 2002)



Font: Elaboració pròpia a partir de dades de l'ESEE.

Centrant-nos ja més específicament en el període més recent (2010 i 2014), a la taula 1 es presenten els resultats de l'anàlisi d'associació estadística (ANOVA i comparació de mitjanes) entre la utilització de robots i els indicadors de resultats, productivitat i treball, i generació de valor a la PIME industrial catalana. El primer que cal assenyalar és que la robotització de la PIME catalana s'associa, presenta associació estadística significativa, amb un major volum de vendes (gairebé 23,5 milions d'euros de facturació mitjana el 2014, davant dels poc més de 14,7 milions de les PIMES no robotitzades), més exportacions (gairebé 10,3 milions d'euros el 2014, davant dels poc més de 6 milions de les PIMES no robotitzades), major productivitat (59,9 mil euros per treballador el 2014, davant dels 52,5 mil de les PIMES no robotitzades) i més empleats (88,2 ocupats de mitjana el 2014, front els 57,6 de les PIMES no robotitzades). Al seu torn, també es detecta que a les PIMES industrials robotitzades les retribucions i cotitzacions per treballador són molt més elevades (més de 41 mil euros el 2014, davant dels gairebé 38 mil de les PIMES no robotitzades), igual que la despesa externa en formació per treballador (167 euros el 2014, front els 136 euros de les PIMES no robotitzades).

Des del punt de vista de la generació de valor, i en particular pel que fa referència a les activitats que es vinculen més directament amb la utilització del coneixement a l'empresa, l'establiment de relacions de complementarietat de la robòtica és més aviat escàs. El 2014, i amb tendència a la baixa respecte el 2010, només hem observat associació estadística significativa entre els usos de la robòtica i: 1) la innovació en procés (un 13,0% de PIMES industrials que usen robots innoven en procés); 2) la innovació organitzativa (8,2% de PIMES), la innovació en mètodes organitzatius del treball (7,4% de PIMES) i la innovació en procés per la instauració de noves tècniques de producció

(8,9% de PIMES). D'altra banda, entre 2010 i 2014, només hem observat tendència creixent de les relacions de complementarietat entre els usos de la robòtica i: a) l'avaluació del canvi tecnològic (un 11,9% de PIMES industrials que usen robots avaluen el canvi tecnològic); la utilització d'assessors per al desenvolupament tecnològic (7,4% de PIMES), el reclutament de personal amb experiència en gestió d'R+D (2,2% de PIMES). Així doncs, de tot el conjunt de fluxos de coneixement que es poden generar en una empresa, els usos de la robòtica a la PIME industrial catalana determinen un grup reduït de relacions de complementarietat. Específicament, amb la innovació de procés i organitzativa, l'avaluació del canvi tecnològic, la utilització d'assessors tecnològics, i el reclutament de personal de gestió d'R+D.

Taula 1. Estadística descriptiva per a la PIME industrial catalana, en funció dels usos de la robòtica. 2010 i 2014

Variable/indicador	2010			2014		
	No robots	Robots	Total	No robots	Robots	Total
Resultats						
Vendes (milers d'euros)	13.852	19.375	15.352	14.751	23.468	17.343**
Exportacions (milers d'euros)	5.591	7.946	6.238	6.112	10.269	7.349*
Actiu (milers d'euros)	10.254	29.940	15.593**	11.813	22.296	15.112***
Marge brut explotació (%)	6,5	8,5	7,1	6,4	6,0	6,3
Eficiència i treball						
Productivitat (milers euros per treballador)	50,3	60,3	53,1**	52,5	59,9	54,7*
Empleats (nombre)	53,6	74,9	59,3***	57,6	88,2	66,7***
Despeses personal per treballador (euros)	35.452	41.079	36.981***	37.680	41.371	38.778***
Despeses formació per treballador (euros)	59,8	103,3	71,6**	135,8	167,0	145,1*
Generació de valor (% empreses)						
Innovació (INNOV)						
Innovació de producte (%)	17,6	6,4	18,8	12,6	7,4	20,1
Innovació de procés (%)	24,6	14,4	39,0**	22,3	13,0	35,3**
Innovació organitzativa (%)	15,9	9,3	24,9**	12,3	8,2	20,4**
Innovació en vendes i màrqueting (%)	15,0	6,4	21,4	14,5	8,6	23,0
Noves formes organització del treball (NFOT)						
Innovació en mètodes organitzatius (%)	14,4	9,3	23,6**	11,2	7,4	18,6*
Innovació gestió relacions externes (%)	7,3	3,8	11,2	5,2	4,1	9,3*
Innovació procés per noves tècniques (%)	12,5	9,9	22,4***	9,7	8,9	18,6***
Usos web (USWEB)						
Comerç electrònic amb consumidors (%)	3,5	1,3	4,8	8,6	2,2	10,8
Comerç electrònic amb empreses (%)	5,4	3,5	8,9	6,3	2,0	8,6
Efecte vendes comerç electrònic (%)	27,5	10,2	37,7	31,2	14,9	46,1
Tecnologies Web (TECWEB)						
Compres proveïdors per comerç electrònic (%)	25,9	12,1	38,0*	35,7	15,6	51,3
Web a servidors de l'empresa (%)	21,4	9,9	31,3	23,4	12,3	35,7
Domini propi d'Internet (%)	61,7	24,9	86,6*	63,6	27,1	90,7
Activitats R+D (AR+D)						
Realitza o contracta R+D	15,0	7,0	22,0	14,1	6,7	20,8
Realitza i contracta R+D	11,5	4,8	16,3	11,9	5,2	17,1
Tecnologies R+D (TECR+D)						
Direcció o comitè de tecnologia (%)	15,7	6,7	22,4	17,1	8,6	25,7
Avaluació canvi tecnològic (%)	15,3	8,9	24,3**	14,1	11,9	26,0***
Utilització assessors tecnologia (%)	11,8	7,0	18,8**	11,9	7,4	19,3*
Recursos R+D (RECR+D)						
Reclutament personal R+D	1,9	1,3	3,2	1,5	2,2	3,7**
Acords cooperació tecnològica (%)	0,6	0,6	1,3	1,1	0,4	1,5
Incentius fiscals R+D (%)	9,9	3,2	13,1	12,6	6,7	19,3
N	228	85	313	189	80	269

Nota: Anàlisi d'associació estadística: ANOVA per a variables contínues i comparació de mitjanes per variables discretes: * $p < 0.1$; ** $p < 0.05$ *** $p < 0.01$. En negreta i cursiva els percentatges d'empreses superiors als esperats a les PIMES que usen robots: residu estandarditzat corregit del recompte més $\geq 1,9$.

Font: Elaboració pròpia a partir de dades de la ESEE.

4.2. Estimació de l'indicador latent de fluxos de coneixement

Una vegada feta la caracterització de la PIME industrial catalana, el primer pas de la metodologia economètrica d'anàlisi és la construcció de l'indicador latent relatiu als fluxos de coneixement (FLCONEIX). A la taula 2 es reproduïen els resultats de l'estimació del model d'equacions estructurals (SEM) amb errors de mesura avaluat per al 2014. En primer lloc, assenyalar que els índexs de bondat d'ajust del model són altament satisfactoris. Els valors dels índexs NFI, RFI, IFI, TLI i CFI són elevats i propers als seu valor òptim de 1. Per la seva banda, el valor de l'índex RMSEA és inferior a 0,08, cosa que corrobora la validesa del model proposat (Hooper et al., 2009).

Pel que fa als coeficients obtinguts, assenyalar que tots els indicadors especificats al model són estadísticament significatius (al 99% de confiança). En aquest sentit, es pot afirmar que a la PIME industrial catalana, l'R+D (activitats, tecnologies i recursos) constitueix el nucli (coeficients més elevats) de la generació i la difusió de coneixement. La innovació, les noves formes d'organització del treball i les tecnologies i usos Web segueixen a l'R+D ja a una distància rellevant. La construcció de l'indicador de fluxos de coneixement per al 2014, i la utilització dels coeficients obtinguts per a construir el mateix indicador per al 2010, ens permet fer una comparació. Els resultats obtinguts ens assenyalen una molt lleugera millora dels fluxos de coneixement entre aquests dos anys (d'una mitjana de 2,28 punts el 2010 a una mitjana de 2,37 punts el 2014), cosa que posaria de relleu que les formes empresarials del coneixement no estarien impulsant amb massa força la millora de la generació de valor de la PIME industrial catalana.

Taula 2. Estimació de l'indicador latent dels fluxos de coneixement (FLCONEIX) a la PIME industrial catalana, 2010 i 2014

Indicadors	Coeficients estandarditzats			Errors			
Innovació (INNOV)	0,477***			1,069***			
Noves formes d'organització del treball (NFOT)	0,367***			0,578***			
Usos Web (USWEB)	0,092***			0,612***			
Tecnologies Web (TECWEB)	0,274***			0,704***			
Activitats d'R+D	0,785***			0,353***			
Tecnologies d'R+D	0,761***			0,103***			
Recursos d'R+D	0,785***			0,226***			
Bondat d'ajust				Valor	Valor crític		
NFI				0.977	>0.95		
RFI				0.961	>0.95		
IFI				0.992	>0.95		
TLI				0.982	>0.95		
CFI				0.991	>0.95		
RMSEA				0.046	<0.08		
Estadística descriptiva		Mitjana	Desv. estàndard	Mínim	Màxim	Asimetria	Curtosi
Fluxos de coneixement 2010		2,28	2,19	0,0	9,00	1,019	0,086
Fluxos de coneixement 2014		2,37	2,08	0,0	9,28	0,987	0,189

Notes: Mètode de regressió: model d'equacions estructurals (SEM) amb errors de mesura. Coeficients estimats: efectes directes. *** p < 0.01. Índexs de bondat d'ajust: NFI: Normed Fit Index; RFI: Relative Fit Index; IFI: Incremental Fit Index; TLI: Tucker-Lewis Index; CFI: Comparative Fit Index; RMSEA: Root Mean Square Error of Approximation.

Font: Elaboració pròpia a partir de dades de la ESEE.

4.3. Estimació de la productivitat del treball a la PIME industrial catalana

El segon pas de la metodologia economètrica d'anàlisi és l'estimació d'un model d'equacions estructurals amb errors de mesura sobre els factors explicatius de la productivitat del treball a la PIME industrial a Catalunya (PTL). A la taula 3 es reproduïen els resultats de l'estimació del model (efectes directes) per als anys 2010 i

2014. Primer de tot, assenyalar que els índexs de bondat d'ajust dels dos models són satisfactoris, amb valors dels índexs NFI, RFI, IFI, TLI i CFI propers a 1, i valors de l'índex RMSEA inferiors o iguals a 0,08.

Pel que fa als coeficients obtinguts, el primer resultat important a destacar és que la utilització de la robòtica no presentaria efecte explicatiu (coeficients estandarditzats directes no significatius) sobre la productivitat del treball. És a dir, la incorporació de la robòtica a la PIME industrial no tindria cap efecte sobre el seu nivell de productivitat (H1 rebutjada). Aquest resultat sorprenent, que es reproduïx en ambdós exercicis, podria veure's corregit si considerem els altres conjunts d'efectes directes i indirectes que, segons el nostre model, també condicionen la relació entre usos de robots i productivitat. Per exemple, l'efecte directe dels recursos financers sobre els usos de la robòtica és positiu i significatiu els dos anys avaluats (H7 acceptada). Ara bé, hi ha altres efectes, com el que relaciona els fluxos de coneixement amb la robòtica (H5 rebutjada) que tampoc són significatius. Per concretar el conjunt d'efectes directes i indirectes que explicarien la relació entre productivitat i robòtica hem construït també els efectes totals que cadascuna de les variables del model exerceix sobre l'altre (figura 3). En clara sintonia amb els efectes directes, els efectes totals dels usos de la robòtica sobre la productivitat de la PIME industrial catalana van ser molt petits el 2010 i nuls el 2014. Probablement, aquesta nul·la incidència agregada amaga comportaments clarament diferenciats entre les PIMES en funció de la seva intensitat en la utilització dels fluxos de coneixement, i també i molt particularment de la seva utilització de robots.

Pel que fa a la resta de coeficients obtinguts, el model de productivitat de la PIME industrial catalana es caracteritza per altres resultats rellevants. En primer lloc, destacar que els fluxos del coneixement sí que expliquen la productivitat i a més ho fan de manera creixent (H1 acceptada). En segon lloc, assenyalar que entre el 2010 i el 2014 s'ha produït un cert efecte desplaçament a propòsit de la importància del factor treball (H3 acceptada) i les exportacions (H4 acceptada) en l'explicació de la productivitat del treball. Mentre que en plena crisi econòmica el factor treball tenia més importància en l'explicació de la productivitat de la PIME industrial, durant la recuperació aquesta importància ha minvat en detriment d'una explicació creixent de les exportacions. En tercer lloc, remarcar que l'accés a recursos especialitzats, en especial els financers, també genera un efecte total positiu sobre la productivitat de la PIME industrial que s'ha mantingut estable entre 2010 i 2014, cosa que denota la rellevància de la capitalització de l'empresa per explicar el seu procés de generació de valor (H6, H8, H9 i H10 acceptades). I, per últim, posar de relleu que el capital humà també incideix sobre la productivitat de la PIME industrial catalana, per bé que amb una magnitud molt inferior a la incidència del factor treball, les exportacions o els actius financers. De fet, la inversió en capital humà incidiria sobre el factor treball (H11 acceptada), però la connexió entre els fluxos de coneixement i el capital humà necessari per a gestionar-los s'hauria truncat amb la recuperació econòmica (H12 rebutjada).

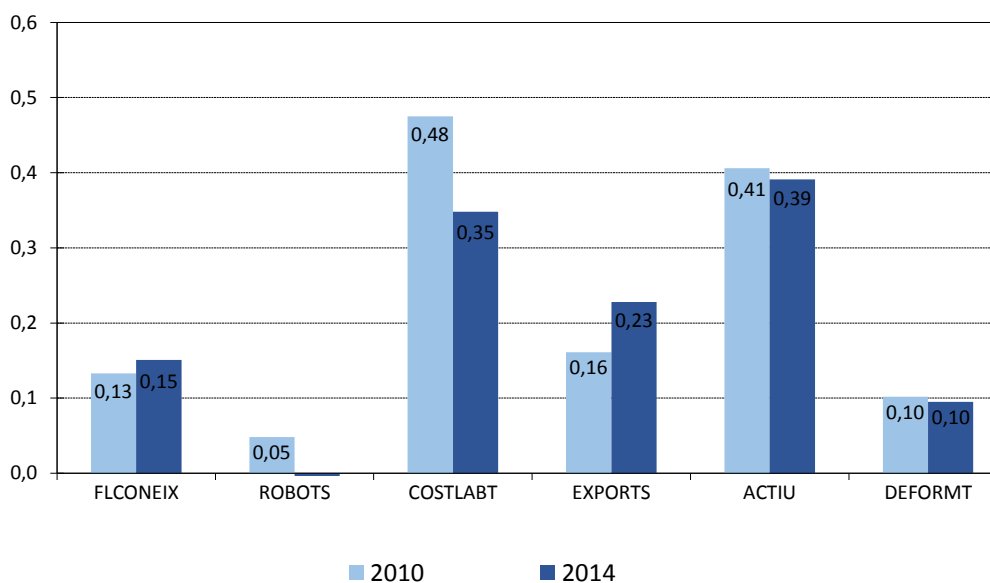
Acabem de constatar que, sorprenentment els usos de la robòtica no generen un efecte directe sobre la productivitat del treball de la PIME catalana. En canvi, els fluxos de coneixement sí que incidirien directament sobre la productivitat. Amb l'objectiu de contrastar si s'estableixen relacions de complementarietat entre aquests dos factors, i en quina direcció conjunta actuarien en l'explicació de la productivitat, hem segmentat les mostres de PIMES en funció dels usos de la robòtica i hem repetit el contrast del model explicatiu conjunt. Això sí, hem eliminat de les hipòtesis plantejades les que feien referència a la utilització de la robòtica, atès que aquesta variable ha estat utilitzada com a variable de segmentació.

Taula 3. Estimació de la productivitat del treball a la PIME industrial catalana. 2010 i 2014

Hipòtesis/variables (explicatives → explicada)	2010		2014	
	Coefficients estandarditzats	Errors estàndard	Coefficients estandarditzats	Errors estàndard
H1. FLCONEIX → PTL	0,109**	0,014	0,150**	0,017
H2. ROBOTS → PTL	0,048	0,064	0,000	0,077
H3. COSTLABT → PTL	0,475***	0,091	0,348***	0,105
H4. EXPORTS → PTL	0,161**	0,014	0,228***	0,018
H5. FLCONEIX → ROBOTS	0,042	0,012	0,067	0,014
H6. ACTIU → FLCONEIX	0,411***	0,078	0,385***	0,082
H7. ACTIU → ROBOTS	0,217***	0,018	0,212***	0,021
H8. ACTIU → COSTLABT	0,482***	0,011	0,388***	0,014
H9. ACTIU → EXPORTS	0,760***	0,073	0,784***	0,065
H10. ACTIU → DEFORMT	-0,110	0,065	0,220**	0,060
H11. DEFORMT → COSTLABT	0,216***	0,021	0,274***	0,023
H12. FLCONEIX → DEFORMT	0,221**	0,043	0,007	0,041
Bondat d'ajust	Valor	Valor crític	Valor	Valor crític
NFI	0,954	>0,95	0,973	>0,95
RFI	0,964	>0,95	0,977	>0,95
IFI	0,951	>0,95	0,995	>0,95
TLI	0,949	>0,95	0,983	>0,95
CFI	0,959	>0,95	0,995	>0,95
RMSEA	0,079	<0,08	0,030	<0,08

Notes: Mètode de regressió: model d'equacions estructurals (SEM) amb errors de mesura. Coeficients estimats: efectes directes. *** p < 0.01. Índexs de bondat d'ajust: NFI: Normed Fix Index; RFI: Relative Fit Index; IFI: Incremental Fit Index; TLI: Tucker-Lewis Index; CFI: Comparative Fit Index; RMSEA: Root Mean Square Error of Approximation. Font: Elaboració pròpia a partir de dades de la ESEE.

Figura 3. Factors explicatius de la productivitat a la PIME industrial catalana. 2010 i 2014 (efectes totals estandarditzats)



Font: Elaboració pròpia a partir de dades de l'ESEE.

A la taula 4 es reproduïen els resultats de l'estimació dels models (efectes directes) de productivitat per les PIMES que usen i no usen robots i per als anys 2010 i 2014. Primer de tot, assenyalar que, novament, els índexs de bondat d'ajust dels quatre models són satisfactoris, amb valors dels índexs NFI, RFI, IFI, TLI i CFI propers a 1, i valors de l'índex RMSEA inferiors o iguals a 0,08.

Pel que fa als coeficients obtinguts, la comparació entre el model de productivitat de les PIMES no robotitzades en relació amb el de les PIMES robotitzades ens ofereix resultats concloents. En efecte, les PIMES no robotitzades presenten un model d'eficiència caracteritzat per la importància decreixent del factor treball (H2 acceptada) i dels fluxos de coneixement (H1 acceptada), i per la rellevància creixent de les exportacions (H3 acceptada). Per la seva banda, la millora en el procés de generació de valor com a resultat de l'accés a recursos financers especialitzats també explica la productivitat de la PIME industrial catalana que no usa robots (H4, H5 i H6 acceptades). Tot i amb això, la relació entre la capitalització i el capital humà no seria significativa (H7 rebutjada). I, per últim i com en el cas general, la inversió en capital humà incidiria sobre el factor treball (H8 acceptada), però la connexió entre els fluxos de coneixement i el capital humà necessari per a gestionar-los s'hauria truncat amb la recuperació econòmica (H9 rebutjada).

En canvi, la PIME industrial catalana que usa robots va tancar el 2014 amb un model de productivitat molt més sofisticat i equilibrat que el que tenia el 2010, amb plena crisi econòmica (figura 4). En efecte, el primer que cal destacar és que els fluxos de coneixement han passat de no tenir incidència directa o de tenir un efecte total negatiu el 2010 a un efecte total significatiu i rellevant el 2014 (H1 acceptada). Així doncs, es confirma la idea de les relacions de complementaritat, l'efecte desbordament, entre la utilització de robots i els fluxos de coneixement. A la PIME industrial catalana, el robots sí que es relacionen amb la productivitat, però ho fan d'una manera indirecta, a través dels fluxos de coneixement.

La important acceleració del coneixement com a factor explicatiu de la productivitat de les PIMES industrials catalanes que usen robots es complementa amb la presència d'altres factors explicatius amb participacions molt similars i una dinàmica a la baixa des del 2010. En concret, el factor treball (H2 acceptada) i les exportacions (H3 acceptada) també configuren el model de productivitat. Per la seva banda, la sofisticació del procés de generació de valor com a resultat de l'accés a recursos financers especialitzats també explica la productivitat de la PIME industrial robotitzada (H4, H5, H6 i H7 acceptades). Per últim, el capital humà presenta una incidència gairebé nul·la en l'explicació de la productivitat del treball de la PIME industrial robotitzada, resultat d'uns efectes directes no significatius (H8 i H9 rebutjades).

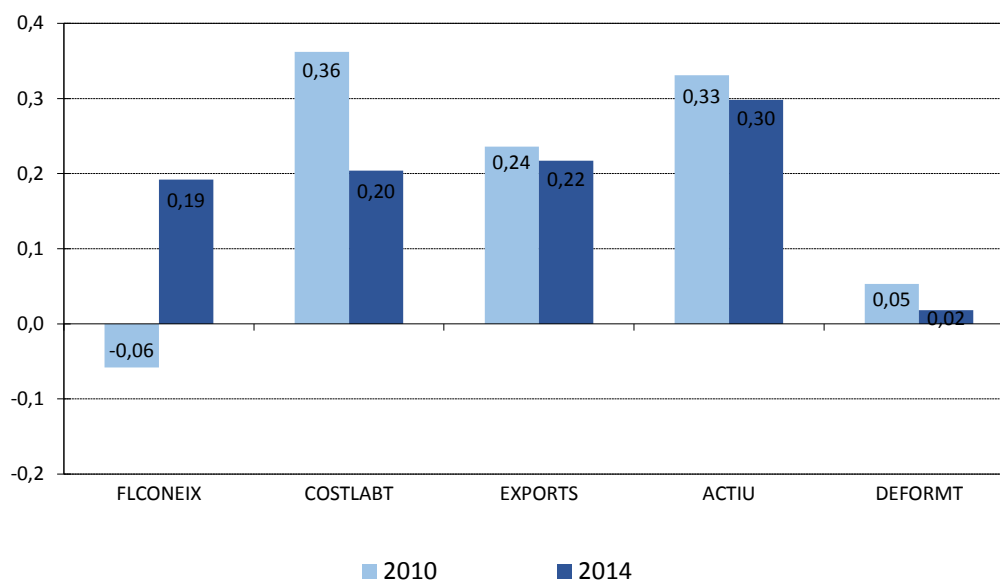
Així doncs, podem concloure aquest exercici de segmentació afirmant que les PIMES industrials que usen robots presenten un model explicatiu de la productivitat més sofisticat i equilibrat que les PIMES no robotitzades. Els efectes totals explicatius de la productivitat venen determinats per un cert equilibri entre els fluxos de coneixement, el factor treball, i les exportacions, així com per la rellevància de l'accés a recursos financers especialitzats que transformen el procés de generació de valor. Només el capital humà, copsat a través de la despesa externa en formació per treballador, se situaria fora d'aquest equilibri de forces, cosa que, molt probablement estaria relacionat amb els efectes reemplaçament del factor treball vinculats amb la inversió en robòtica.

Taula 4. Estimació de la productivitat del treball a la PIME industrial catalana en funció dels usos de la robòtica. 2010 i 2014

Hipòtesis/variables (explicatives → explicada)	2010		2014	
	Coef. estand. no robots	Coef. estand. robots	Coef. estand. no robots	Coef. estand. robots
H1. FLCONEIX → PTL	0,175***	-0,064	0,127**	0,193**
H2. COSTLABT → PTL	0,506***	0,362***	0,397***	0,204**
H3. EXPORTS → PTL	0,121*	0,236**	0,220***	0,217**
H4. ACTIU → FLCONEIX	0,457***	0,236**	0,416***	0,271**
H5. ACTIU → COSTLABT	0,472***	0,458***	0,381***	0,364***
H6. ACTIU → EXPORTS	0,772***	0,739***	0,783***	0,764***
H7. ACTIU → DEFORMT	-0,246*	0,082	0,151	0,369***
H8. DEFORMT → COSTLABT	0,245***	0,146	0,382***	0,086
H9. FLCONEIX → DEFORMT	0,288**	0,124	0,077	-0,080
Bondat d'ajust	Valor	Valor	Valor	Valor
NFI	0,947	0,953	0,957	0,955
RFI	0,879	0,875	0,948	0,939
IFI	0,953	0,944	0,976	0,977
TLI	0,927	0,945	0,950	0,954
CFI	0,951	0,932	0,974	0,973
RMSEA	0,079	0,080	0,079	0,065

Notes: Mètode de regressió: model d'equacions estructurals (SEM) amb errors de mesura. Coeficients estimats: efectes directes. *** $p < 0.01$. Índexs de bondat d'ajust: NFI: Normed Fix Index; RFI: Relative Fit Index; IFI: Incremental Fit Index; TLI: Tucker-Lewis Index; CFI: Comparative Fit Index; RMSEA: Root Mean Square Error of Approximation.
Font: Elaboració pròpia a partir de dades de la ESEE.

Figura 4. Factors explicatius de la productivitat a la PIME industrial catalana amb usos de robòtica. 2010 i 2014
(efectes totals estandarditzats)



Font: Elaboració pròpia a partir de dades de l'ESEE.

5. Conclusió, discussió i implicacions

Aquest estudi ha analitzat les noves fonts de la productivitat de la PIME industrial catalana, particularment en el context d'anàlisi dels efectes desbordament del coneixement. Per a fer-ho, s'ha dissenyat i contrastat un model d'efectes directes i indirectes de la productivitat del treball a través de 12 hipòtesis d'investigació. Aquestes hipòtesis s'han contrastat empíricament a través d'un model d'equacions estructurals (SEM) amb dues etapes i amb errors de mesura. A la primera etapa, s'ha construït un indicador latent sobre els fluxos de coneixement a l'empresa, que aglutina l'activitat empresarial d'R+D, innovació i usos d'Internet (7 indicadors additius i 20 variables d'entrada). A la segona etapa, s'han estimat els factors explicatius de la productivitat del treball de la PIME industrial catalana per al 2010 i el 2014, a més de obtenir resultats específics sobre els factors explicatius per a les PIMES robotitzades i no robotitzades. En total, s'han dissenyat i contrastat 7 models econòmics. L'anàlisi s'ha realitzat sobre un panell d'unes 250 PIMES industrials amb establiment del producte principal ubicat a Catalunya i s'aporten també dades descriptives per al període 2002-2014. La font d'informació utilitzada ha estat la *Encuesta sobre Estrategias Empresariales (ESEE)*.

L'anàlisi descriptiu de la dinàmica de la productivitat i l'ocupació de la PIME industrial catalana en el període 2002 a 2014 posa de relleu nova evidència. En primer lloc, assenyalar que, tot i la duresa de la crisi econòmica, la dinàmica de productivitat i ocupació d'aquesta dimensió empresarial ha estat molt positiva, cosa que desmenteix la tesi de la recuperació econòmica sense creació d'ocupació o *jobless recovery* (Brynjolfsson i McAfee, 2012; Graetz i Michaels, 2017). Més aviat el contrari. Entre 2002 i 2014, la productivitat de la PIME catalana hauria crescut d'un 28,8% (2,4% en termes mitjans anuals), clarament per sota de l'ocupació, amb un increment acumulat del 34,8% (2,9% en termes mitjans anuals). En segon lloc, també és possible concloure que la robotització sí que implica un cert reemplaçament del treball en el sentit que les PIMES industrials que usen robots han presentat un creixement de la productivitat clarament superior al de l'ocupació (40,9% i 19,4% de creixement acumulat entre 2002 i 2014, respectivament), mentre que a les PIMES industrials no robotitzades ha succeït justament el contrari (24,1% i 29,5% de creixement acumulat entre 2002 i 2014, respectivament).

Centrant-nos més específicament en el període més recent, la caracterització de la PIME industrial robotitzada també ens aporta resultats interessants. Les PIMES industrials que usen robots venen més, exporten més, són més productives (59,9 mil euros per treballador el 2014, davant dels 52,5 mil de les PIMES no robotitzades) i tenen més empleats (88,2 ocupats de mitjana el 2014, front els 57,6 de les PIMES no robotitzades). A més, el factor treball està més ben retribuït (més de 41 mil euros el 2014, davant dels gairebé 38 mil de les PIMES no robotitzades), igual que la inversió en capital humà (167 euros de despesa en formació per treballador el 2014, front els 136 euros de les PIMES no robotitzades). Des del punt de vista de la generació de valor i de tot el conjunt de fluxos de coneixement que es poden generar en una empresa, els usos de la robòtica a la PIME industrial catalana determinen un grup reduït de relacions de complementarietat. Específicament, amb la innovació de procés i organitzativa, l'avaluació del canvi tecnològic, la utilització d'assessors tecnològics, i el reclutament de personal de gestió d'R+D.

En relació amb els factors explicatius de la productivitat del treball de la PIME industrial catalana, els resultats obtinguts també ens ofereixen novetats significatives. En primer lloc, hem constatat que, sorprenentment, els usos de la robòtica no generen un efecte directe sobre la productivitat. En canvi, els fluxos de coneixement sí que incidirien directament sobre la productivitat. Amb l'objectiu de contrastar si s'estableixen relacions

de complementarietat entre aquests dos factors, i en quina direcció conjunta actuarien, hem segmentat les mostres de PIMES en funció dels usos de la robòtica i hem repetit el contrast del model explicatiu conjunt. El primer que cal destacar dels resultats obtinguts per a la PIME industrial robotitzada és que els fluxos de coneixement han passat de no tenir incidència directa sobre la productivitat d'aquest segment de PIMES el 2010 a un efecte total significatiu i molt rellevant el 2014. Així doncs, es confirma la idea de les relacions de complementarietat, l'efecte desbordament, entre la utilització de robots i els fluxos de coneixement. A la PIME industrial catalana, el robots sí que es relacionen amb la productivitat, però ho fan d'una manera indirecta, a través dels fluxos de coneixement. De fet, aquesta evidència té moltes semblances amb els resultats obtinguts per la literatura quan ha volgut copsar els efectes dels usos de les TIC sobre la productivitat de les PIMES. Només s'han pogut copsar efectes directes en molt poques ocasions i, en general, sí que s'observen efectes indirectes, relacions de complementarietat, entre els usos TIC, el capital humà i la innovació al lloc de treball (Díaz-Chao et al., 2015, 2016b).

Adicionalment, les PIMES industrials que usen robots presenten un model explicatiu de la productivitat més sofisticat i equilibrat que les PIMES no robotitzades. Els efectes totals explicatius de la productivitat venen determinats per un cert equilibri entre els fluxos de coneixement, el factor treball, i les exportacions, així com per la rellevància de l'accés a recursos financers especialitzats que transformen el procés de generació de valor. Aquests resultats, que certifiquen una tendència cap un model més intensiu i sofisticat de productivitat a la PIME industrial robotitzada, són coherents amb la recerca publicada recentment (Eppinger et al., 2015; Hausman i Johnston, 2014) i confirmen la vinculació entre els fluxos de coneixement, el treball, la capitalització i les exportacions. Tot i amb això, el camí a recórrer per a moltes PIMES industrials que no han aprofundit en el seu procés de digitalització, que tenen estructures de creació i difusió del coneixement molt primàries, que no estan internacionalitzades i que tenen problemes per a accedir a recursos financers especialitzats, és encara molt llarg (Benito-Osorio et al., 2016). En aquest sentit, cal prendre en consideració els efectes del cicle econòmic (López-Ortega et al., 2016). En concret, caldrà estar amatent a noves dades més recents per veure si la recuperació dels mercats interns té alguna incidència sobre el model de productivitat de la PIME industrial robotitzada o, pel contrari, es reforça el model actual.

Per últim, aquests resultats suggereixen algunes implicacions per a l'estratègia empresarial i per les polítiques públiques de creixement i d'acceleració empresarial. Primer de tot, cal fer notar la necessitat de considerar tot el conjunt d'efectes desbordament que els fluxos de coneixement i la robòtica generen sobre la generació de valor i la productivitat de les PIMES. Polítiques públiques o estratègies parcials podrien ser clarament contraproductius. Per exemple, promoure la internacionalització de les PIMES sense considerar la seva dinàmica prèvia de gestió i difusió de coneixement o sense analitzar les seves fonts anteriors de productivitat (mecanismes d'auto-selecció) podria ser clarament contraproductiu. De la mateixa manera, impulsar processos de transformació digital de segona onada, per exemple la inversió en robòtica, sense tenir assentats els mecanismes de gestió i d'innovació que s'hi vinculen, també podria portar cap a resultats inesperats. I, en segon lloc, també és important ser curosos amb les polítiques que incentiven els desbordaments del coneixement, en especial amb les friccions entre disseminació i rèplica quan transferim coneixement (Oehme i Bort, 2015). Per exemple, quan es desenvolupen polítiques de triple hèlix que fomenten els intercanvis de coneixement a través de la innovació oberta. Aquesta acció pot tenir un efecte positiu sobre el teixit de PIMES menys innovador però, si no es combina amb mecanismes de protecció de la propietat intel·lectual, també podria debilitar el potencial competitiu i exportador en el llarg termini de les PIMES més innovadores.

Referències

- Acemoglu, D., Aghion, P., Lelarge, C., Van Reenen, J., & Zilibotti, F. 2007. Technology, information, and the decentralization of the firm. *Quarterly Journal of Economics*, 122(4): 1759-1799.
- Aghion, P., Blundell, R., Griffith, R., Howitt, P., & Prantl, S. 2004. Entry and productivity growth: evidence from microlevel panel data. *Journal of the European Economic Association*, 2(2): 265-276.
- Andrews, D., Criscuolo, C., & Gal, P. 2016. *The global productivity slowdown, technology divergence and public policy: A firm-level perspective*. OECD, Paris: OECD Background Paper.
- Ang, J. B., & Madsen, J. B. 2013. International R&D spillovers and productivity trends in the Asian miracle economies. *Economic Inquiry*, 51(2): 1523-1541.
- Audretsch, D. B. 2002. The dynamic role of small firms: Evidence from the US. *Small Business Economics*, 18(1-3): 13-40.
- Autor, D. H. (2015). Why are there still so many jobs? The history and future of workplace automation. *Journal of Economic Perspectives*, 29(3): 3-30.
- Aw, B. Y., Roberts, M. J., Xu, D. Y. 2008. R&D investments, exporting, and the evolution of firm productivity. *American Economic Review*, 98(2): 451-456.
- Bandiera, O., Barankay, I., & Rasul, I. 2009. Social connections and incentives in the workplace: evidence from personnel data. *Econometrica*, 77(4): 1047-1094.
- Bartelsman, E. J., & Doms, M. 2000. Understanding productivity: lessons from longitudinal microdata. *Journal of Economic Literature*, 38(3): 569-594.
- Bartelsman, E. J., Haskel, J. E., & Martin, R. 2008. *Distance to which frontier? Evidence on productivity convergence from international firm-level data*. Centre for Economic Policy Research. Discussion Paper 7032.
- Bartelsman, E. J., Haltiwanger, J., & Scarpetta, S. 2013. Cross-country differences in productivity: the role of allocation and selection. *American Economic Review*, 103(1): 305-334.
- Benito-Osorio, D., Colino, A., Guerras-Martín, L. Á., & Zúñiga-Vicente, J. Á. 2016. The international diversification-performance link in Spain: Does firm size really matter? *International Business Review*, 25(2): 548-558.
- Berlingieri, G., Blanchenay, P., & Criscuolo, C. 2017. *The great divergence(s)*. Center for Economic Performance (CEP) Working Paper 1488.
- Bernard, A. B., & Jensen, J. B. 2004. Why some firms export. *Review of Economics and Statistics*, 86(2): 561-569.
- Bernard, A. B., Jensen, J. B., & Schott, P. K. 2006. Trade costs, firms and productivity. *Journal of Monetary Economics*, 53(5): 917-937.
- Bernard, A. B., Redding, S. J., & Schott, P. K. 2010. Multiple-product firms and product switching. *American Economic Review*, 100(1): 70-97.
- Bloom, N., & Van Reenen, J. 2010. Why do management practices differ across firms and countries? *Journal of Economic Perspectives*, 24(1): 203-224.
- Bloom, N., Sadun, R., & Van Reenen, J. 2012a. The organization of firms across countries. *Quarterly Journal of Economics*, 127(4): 1663-1705.
- Bloom, N., Sadun, R., & Van Reenen, J. 2012b. Americans do IT better: US multinationals and the productivity miracle. *American Economic Review*, 102(1): 167-201.
- Bloom, N., Schankerman, M., & Van Reenen, J. 2013a. Identifying technology spillovers and product market rivalry. *Econometrica*, 81(4): 1347-1393.

- Bloom, N., Romer, P. M., Terry, S. J., & Van Reenen, J. 2013b. A trapped-factors model of innovation. *American Economic Review*, 103(3): 208-213.
- Brambilla, I., Lederman, D., & Porto, G. 2012. Exports, export destinations, and skills. *American Economic Review*, 102(7): 3406-3438.
- Byrne, D. M., Fernald, J. G., & Reinsdorf, M. B. 2016. Does the United States have a productivity slowdown or a measurement problem? *Brookings Papers on Economic Activity*, 2016(1): 109-182.
- Brynjolfsson, E., & McAfee, A. 2012. *Race against the machine: How the digital revolution is accelerating innovation, driving productivity, and irreversibly transforming employment and the economy*. Cambridge, MA: MIT.
- Cardona, M., Kretschmer, T., & Strobel, T. 2013. ICT and productivity: conclusions from the empirical literature. *Information Economics and Policy*, 25(3): 109-125.
- Cassiman, B., Golovko, E., & Martínez-Ros, E. 2010. Innovation, exports and productivity. *International Journal of Industrial Organization*, 28(4): 372-376.
- Comacchio, A., Bonesso, S., & Pizzi, C. 2012. Boundary spanning between industry and university: the role of technology transfer centers. *Journal of Technology Transfer*, 37(6): 943-966.
- Combes, P. P., Duranton, G., Gobillon, L., Puga, D., & Roux, S. 2012. The productivity advantages of large cities: distinguishing agglomeration from firm selection. *Econometrica*, 80(6): 2543-2594.
- De Loecker, J., & Van Biesebroeck, J. 2016. *Effect on international competition on firm productivity and market power*. National Bureau of Economic Research. Working Paper 21994.
- Díaz-Chao, A., Sainz-González, J., & Torrent-Sellens, J. 2015. ICT, innovation, and firm productivity: New evidence from small local firms. *Journal of Business Research*, 68(7): 1439-1444.
- Díaz-Chao, A., Sainz-González, J., & Torrent-Sellens, J. 2016a. The competitiveness of small network-firm: A practical tool. *Journal of Business Research*, 69(5): 1769-1774.
- Díaz-Chao, A., Miralbell-Izard, O., & Torrent-Sellens, J. 2016b. Information and communication technologies, innovation and firm productivity in small and medium-sized travel agencies: New evidence from Spain. *Journal of Travel Research*, 55(7), 862-873.
- Dimitratos, P., Johnson, J. E., Plakoyiannaki, E., & Young, S. 2016. SME internationalization: How does the opportunity-based international entrepreneurial culture matter? *International Business Review*, 25(6): 1211-1222.
- Doraszelski, U., & Jaumandreu, J. 2013. R&D and productivity: estimating endogenous productivity. *Review of Economic Studies*, 80(4): 1338-1383.
- Dosi, G., Moschella, D., Pugliese, E., & Tamagni, F. 2015. Productivity, market selection, and corporate growth: comparative evidence across US and Europe. *Small Business Economics*, 45(3): 643-672.
- Duval, R., Hong, G. H., Timmer, Y. 2017. *Financial frictions and the great productivity slowdown*. International Monetary Fund (IMF) Working Paper 17-129.
- Eaton, J., & Kortum, S. 2002. Technology, geography and trade. *Econometrica*, 70(5): 1741-1779.
- Eberhardt, M., Helmers, C., & Strauss, H. 2013. Do spillovers matter when estimating private returns to R&D? *Review of Economics and Statistics*, 95(2): 436-448.
- Eliasson, K., Hanson, P., & Lindvert, M. 2012. Do firms learn by exporting or learn to export? Evidence from small and medium-sized firms. *Small Business Economics*, 39(2): 453-472.

- Eppinger, P. S., Meythaler, N., Sindlinger, M-M., & Smolka, M. 2015. *The great trade collapse and the Spanish export miracle: firm-level evidence from the crisis*. IAW Discussion Papers 120.
- European Commission. 2012. *Evaluation of the SME definition*. Brussels: European Commission.
- Faggio, G., Salvanes, K. G., & Van Reenen, J. 2010. The evolution of inequality in productivity and wages: panel data evidence. *Industrial and Corporate Change*, 19(6): 1919-1951.
- Foreman-Peck, J. 2013. Effectiveness and efficiency of SME innovation policy. *Small Business Economics*, 41(1): 55-70.
- Foster, L., Haltiwanger, J., & Syverson, C. 2008. Reallocation, firm turnover and efficiency: selection on productivity or profitability? *American Economic Review*, 98(1): 394-425.
- Fox, J. T., & Smeets, V. 2011. Does input quality drive measured differences in firm productivity? *International Economic Review*, 52(4): 961-989.
- Glückler, J. 2013. Knowledge, networks and space: connectivity and the problem of non-interactive learning. *Regional Studies*, 47(6): 880-894.
- Golovko, E., & Valentini, G. 2011. Exploring the complementarity between innovation and export for SMEs' growth. *Journal of International Business Studies*, 42(3): 362-380.
- Gordon, R. J. 2012. *Is US economic growth over? Faltering innovation confronts the six headwinds*. National Bureau of Economic Research Working Paper 18315.
- Graetz, G., & Michaels, G. 2015. *Robots at work*. Center for Economic Performance (CEP) Discussion Paper 1335.
- Graetz, G., & Michaels, G. 2017. Is modern technology responsible for jobless recoveries? *American Economic Review*, 107(5): 168-173.
- Griffith, R., Harrison, R., & Van Reenen, J. 2006. How special is the special relationship? Using the Impact of U.S. R&D spillovers on U.K. firms as a test of technology sourcing. *American Economic Review*, 96(5): 1859-1875.
- Griliches, Z. 1979. Issues in assessing the contribution of R&D to productivity growth. *Bell Journal of Economics*, 10(1): 92-116.
- Guest, D. E. 2011. Human resource management and performance: still searching for some answers. *Human Resource Management Journal*, 21(1): 3-13.
- Gunday, G., Ulusoy, G., Kilic, K., & Alpkan, L. 2011. Effects of innovation types on firm performance. *International Journal of Production Economics*, 133(2): 662-676.
- Hall, B. H., Lotti, F., & Mairesse, J. 2009. Innovation and productivity in SMEs: empirical evidence from Italy. *Small Business Economics*, 33(1): 13-33.
- Hall, B. H., Lotti, F., & Mairesse, J. 2013. Evidence on the impact of R&D and ICT investment on innovation and productivity in Italian firms. *Economics of Innovation and New Technology*, 22(3): 300-328.
- Hausman, A., & Johnston, W. J. 2014. The role of innovation in driving the economy: lessons from the global financial crisis. *Journal of Business Research*, 67(1): 2720-2726.
- Herrmann, A. M., & Peine, A. 2011. When national innovation system meets varieties of capitalism arguments on labour qualifications: On the skill types and scientific knowledge needed for radical and incremental product innovations. *Research Policy*, 40(5): 687-701.
- Hooper, D., Coughlan, J., & Mullen, M. 2009. Structural equation modelling: guidelines for determining model fit. *Electronic Journal of Business Research Methods*, 6(1): 53-60.
- Jiang, K., Lepak, D. P., Hu, J., & Baer, J. C. 2012. How does human resource management influence organizational outcomes? A meta-analytic investigation of mediating mechanisms. *Academy of Management Journal*, 55(6): 1264-1294.

- Johansson, B., & Lööf, H. 2015. Productivity, networks and knowledge flows. *Economics of Innovation and New Technology*, 24(1-2): 1-4.
- Jorgenson, D. W., Ho M. S., & Stiroh, K. J. 2008. A retrospective look at the U.S. productivity growth resurgence. *Journal of Economic Perspectives*, 22(1): 3-24.
- Jorgenson, D. W., Ho, M. S., & Samuels, J. D. 2016. The impact of information technology on postwar US economic growth. *Telecommunications Policy*, 40(5): 398-411.
- Kaplan, S. N., Klebanov, M. M., & Sorensen, M. 2012. Which CEO characteristics and abilities matter? *Journal of Finance*, 67(3): 973-1007.
- Keller, W. 2004. International technology diffusion. *Journal of Economic Literature*, 42(3): 752-782.
- Keller, W., & Yeaple, S. R. 2009. Multinational enterprises, international trade, and productivity growth: firm level evidence from the United States. *Review of Economics and Statistics*, 91(4): 821-831.
- Keller, W., & Yeaple, S. R. 2013. The gravity of knowledge. *American Economic Review*, 103(4): 1414-1444.
- Kellogg, R. 2011. Learning by drilling: Interfirm learning and relationship persistence in the Texas oil patch. *Quarterly Journal of Economics*, 126(4): 1961-2004.
- Konings, J., & Vanormelingen, S. 2015. The impact of training on productivity and wages: firm-level evidence. *Review of Economics and Statistics*, 97(2): 485-497.
- Lee, G. 2006. The effectiveness of international knowledge spillover channels. *European Economic Review*, 50(8): 2075-2088.
- Lee, G. 2009. International knowledge spillovers through the import of information technology commodities. *Applied Economics*, 41(24): 3161-3169.
- Lentz, R., & Mortensen, D. T. 2008. An empirical model of growth through product innovation. *Econometrica*, 76(6): 1317-1373.
- Lileeva, A., & Trefler, D. 2010. Improved access to foreign markets raises plant-level productivity... For some plants. *Quarterly Journal of Economics*, 125(3): 1051-1099.
- López-Ortega, E., Canales-Sánchez, D., Bautista-Godínez, T., & Macías-Herrera, S. 2016. Classification of micro, small and medium enterprises (M-SME) based on their available level of knowledge. *Technovation*, 47(3): 59-69.
- Love, J. H., Roper, S., & Bryson, J. 2011. Knowledge, openness, innovation and growth in UK business services. *Research Policy*, 40(10): 1438-1452.
- Love, J. H., & Ganotakis, P. 2013. Learning by exporting: lessons from high-technology SMEs. *International Business Review*, 22(1): 1-17.
- Love, J. H., & Roper, S. 2015. SME innovation, exporting and growth: A review of existing evidence. *International Small Business Journal*, 33(1): 28-48.
- Luintel, K. B., Khan, M., & Theodoridis, K. 2014. On the robustness of R&D. *Journal of Productivity Analysis*, 42(2): 137-155.
- Mahy, B., Rycx, F., & Volral, M. 2011. Wage dispersion and firm productivity in different working environments. *British Journal of Industrial Relations*, 49(3): 460-485.
- Malmendier, U., & Tate, G. 2009. Superstar CEOs. *Quarterly Journal of Economics*, 124(4): 1593-1638.
- Mokyr, J. 2014. The next age of invention: Technology's future is brighter than pessimists allow. *City Journal*, 24(1): 12-21.
- Nakamura, L., & Soloveichik, R. 2015. *Valuing "free" media across countries in GDP*. Federal Reserve Bank of Philadelphia Working Paper 15-25.

- Oehme, M., & Bort, S. 2015. SME internationalization modes in the German biotechnology industry: The influence of imitation, network position, and international experience. *Journal of International Business Studies*, 46(6): 629-655.
- Pratt, G.A. 2015. Is a Cambrian explosion coming for robotics? *Journal of Economic Perspectives*, 29(3): 51-60.
- Ricci, L. A., & Trionfetti, F. 2012. Productivity, networks and export performance: evidence from a cross country dataset. *Review of International Economics*, 20(3): 552-562.
- Riding, A., Orser, B. J., Spence, M., & Belanger, B. 2012. Financing new venture exporters. *Small Business Economics*, 38(2): 147-163.
- Robbins, C. A. 2006. The impact of gravity-weighted knowledge spillovers on productivity in manufacturing. *Journal of Technology Transfer*, 31(1): 45-60.
- Roper, S., Vahter, P., & Love, J. H. 2013. Externalities of openness in innovation. *Research Policy*, 42(9): 1544-1554.
- Rosing, K., Frese, M., & Bausch, M. 2011. Explaining the heterogeneity of the leadership-innovation relationship: ambidextrous leadership. *Leadership Quarterly*, 22(5): 956-974.
- Seamans, R., & Raj, M. 2018. *AI, labor, productivity and the need for firm-level Data*. National Bureau of Economic Research 24239.
- Syversen, C. 2011. What determines productivity? *Journal of Economic Literature*, 49(2): 326-365.
- Syversen, C. 2017. Challenges to mismeasurement explanations for the US productivity slowdown. *Journal of Economic Perspectives*, 31(2): 165-186.
- Torrent-Sellens, J. 2015. Knowledge products and network externalities. Implications for the business strategy. *Journal of the Knowledge Economy*, 6(1): 138-156.
- Torrent-Sellens, J. 2017. *Las empresas industriales en 2014 y 2015. Encuesta sobre Estrategias Empresariales (ESEE)*. Madrid: Ministerio de Hacienda y Función Pública, Gobierno de España.
- Van de Vrande, V., de Jong, J. P. J., Vanhaverbeke, W., & De Rochemont, M. 2009. Open innovation in SMEs: trends, motives and management challenges. *Technovation*, 29(6): 423-437.
- Venturini, F., Rincón-Aznar, A., & Vecchi, M. 2013. *ICT as a general purpose technology: spillovers, absorptive capacity and productivity performance*. National Institute of Economic and Social Research. Discussion Paper 11717.
- Venturini, F. 2015. The modern drivers of productivity. *Research Policy*, 44(2): 357-369.
- Wagner, J. 2007. Exports and productivity: a survey of the evidence from firm-level data. *World Economy*, 30(1): 60-82.
- Zhu, L., & Jeon, B. N. 2007. International R&D spillovers: trade, FDI, and information technology as spillover channels. *Review of International Economics*, 15(5): 955-976.