

## Μοντελοποιώντας τη δυναμική των εθνικών συστημάτων καινοτομίας

Απόστολος Βέτσικας<sup>1</sup>, Γεώργιος Σταμπουλής<sup>2</sup>

### Περίληψη

Στην παρούσα εργασία αντιλαμβανόμαστε τα εθνικά συστήματα καινοτομίας (ΕΣΚ) ως αποτελούμενα από πέντε αλληλεπιδρούσες έλικες: Κυβέρνηση, Ακαδημία, Βιομηχανία, Κοινωνία και Χρηματοπιστωτικό Σύστημα. Αυτοί οι ετερογενείς δρώντες αναπτύσσουν τη συμπεριφορά τους, που αφορά στη δέσμευση-κατανομή πόρων, στο πλαίσιο αλληλεξαρτήσεων και αλληλεπιδράσεων που καθορίζουν την αποτελεσματικότητα και την αποδοτικότητα των ενεργειών τους. Αναπτύσσουμε ένα μοντέλο Συστημικής Δυναμικής (*System Dynamics*) που υπερβαίνει τη στατικότητα των πινάκων επιδόσεων καινοτομίας (*innovation scoreboards*) και τα γραμμικά μοντέλα καινοτομίας (τεχνολογικής ώθησης ή έλξης ζήτησης). Το μοντέλο δείχνει πώς οι αλλαγές σε μεμονωμένες παραμέτρους - σε μία έλικα - μπορεί να επιφέρουν μη-γραμμικές επιδράσεις σε όλο το σύστημα. Χρησιμοποιούμε διάγραμμα αιτιότητας για να απεικονίσουμε τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ διαφόρων στοιχείων των ΕΣΚ και διάγραμμα συσσώρευσης-ροής για να διερευνήσουμε την αναδυόμενη συμπεριφορά τους. Στόχος μας είναι να εντοπίσουμε τις προεξοχές (πιο αποτελεσματικά στοιχεία) και τις *ανάστροφες προεξοχές* (στοιχεία που υστερούν από άποψη αποτελεσματικότητας) που προκύπτουν μέσω της εξέλιξης των ΕΣΚ, όσον αφορά την απόδοση. Στη συνέχεια μπορούν να προσδιοριστούν σημεία μόχλευσης, όπου η παρέμβαση ή η αλλαγή θα πρέπει να επιφέρουν τη μέγιστη επίδραση στην απόδοση του συστήματος.

*Λέξεις κλειδιά: Εθνικά Συστήματα Καινοτομίας (ΕΣΚ), Μοντέλο «N-Ελικών καινοτομίας», Συστημική Δυναμική (ΣΔ), Ετερογένεια Δρώντων, Αναδυόμενη Συμπεριφορά*

<sup>1</sup> Υπ. Διδάκτορας, Τμήμα Οικονομικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

<sup>2</sup> Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Οικονομικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας,

## 1. Εισαγωγή

Τα συστήματα καινοτομίας (ΣΚ) και το μοντέλο «N-ελίκων καινοτομίας» αναδύθηκαν, τη δεκαετία του 1980 και του 1990, ως απάντηση στην κριτική της γραμμικής σκέψης της καινοτομίας και των προσπαθειών σύνδεσης της έλξης της ζήτησης με τις τεχνολογικές εξελίξεις σε ένα ολιστικό πλαίσιο. Θεωρούν τη διαδικασία καινοτομίας ως ένα πολύπλοκο σύνολο αλληλεπιδράσεων σε πολλά μέρη του συστήματος.

Παρότι έχουν εφαρμοστεί διάφορες ποσοτικές μέθοδοι (π.χ. οικονομετρική ανάλυση και μοντελοποίηση, περιβάλλουσα ανάλυση δεδομένων, ανάλυση συστάδων) για την αποτίμηση της αποτελεσματικότητας, της αποδοτικότητας και της συνολικής απόδοσης των ΕΣΚ σε ένα ευρύ φάσμα χωρών (ανεπτυγμένες, αναπτυσσόμενες, αναδυόμενες, σε μετάβαση), σημαντικά ζητήματα και ερωτήματα παραμένουν υπό διερεύνηση.

- Πώς μπορεί να αποτυπωθεί η εξελικτική πορεία των ΕΣΚ σε δυναμικά μοντέλα που εξετάζουν τις ιδιαιτερότητες, τη συμπεριφορά και τις αλληλεπιδράσεις των συστατικών τους;
- Ποιοι είναι οι μηχανισμοί συντονισμού μεταξύ του πλήθους των ετερογενών δρώντων (π.χ., συν-αγωνιστική δυναμική, μηχανισμοί ανάδρασης);
- Ποιες είναι οι κινητήριες δυνάμεις της αλλαγής και τα σημεία μόχλευσης στα ΕΣΚ για την αποτελεσματικότητα της πολιτικής;

Θεωρούμε τα ΕΣΚ αποτελούμενα από πέντε αλληλεπιδρούσες έλικες: Κυβέρνηση, Ακαδημία, Βιομηχανία, Κοινωνία και Χρηματοπιστωτικό Σύστημα. Οι δρώντες εντός των ελίκων αναπτύσσουν τη συμπεριφορά τους - σε ό,τι αφορά στη δέσμευση-κατανομή των πόρων - στο πλαίσιο αλληλεξαρτήσεων και αλληλεπιδράσεων που καθορίζουν την αποτελεσματικότητα και την αποδοτικότητα των δράσεών τους (Stamboulis, 2007).

Αναπτύσσουμε ένα μοντέλο συστημικής δυναμικής (ΣΔ) που αναδεικνύει τη -βασισμένη στις έλικες - ετερογένεια των δρώντων και

επισημαίνει τους βασικούς αιτιώδεις μηχανισμούς και βρόχους ανατροφοδότησης (ενίσχυσης και εξισορρόπησης) που διέπουν την εξέλιξη και την απόδοση των ΕΣΚ. Χρησιμοποιούμε διάγραμμα αιτιότητας για να απεικονίσουμε την περιπλοκότητα των αλληλεπιδράσεων μεταξύ διαφόρων στοιχείων στα ΕΣΚ και διάγραμμα συσσώρευσης-ροής για να διερευνήσουμε την αναδυόμενη συμπεριφορά τους.

Στην Ενότητα 2, παρουσιάζουμε τους κύριους δρώντες του μοντέλου λαμβάνοντας υπόψη το εννοιολογικό πλαίσιο των «N-ελίκων καινοτομίας». Στην Ενότητα 3, παρουσιάζουμε τη μέθοδο της συστημικής δυναμικής (ΣΔ) και μια ανασκόπηση μελετών που χρησιμοποιούν μοντέλα ΣΔ για να διερευνήσουν τη δυναμική των ΕΣΚ. Στην Ενότητα 4, παρουσιάζουμε το προτεινόμενο μοντέλο ΣΔ με τη χρήση των διαγραμμάτων αιτιότητας και συσσώρευσης-ροής. Στην Ενότητα 5, συνοψίζουμε τα κύρια συμπεράσματα και τα περαιτέρω βήματα του ερευνητικού προγράμματος.

## 2. Τα ΕΣΚ ως συστήματα αλληλεπίδρασης ετερογενών δρώντων

Η έννοια των ΣΚ αναπτύχθηκε αρχικά από τους Freeman (1987), Lundvall (1992) και Nelson (1993), με εστίαση στο εθνικό επίπεδο, τονίζοντας τον κοινωνικό, θεσμικό και εξελικτικό χαρακτήρα της καινοτομίας. Το μοντέλο της Τριπλής Έλικας (αργότερα «N-ελίκων καινοτομίας») αναπτύχθηκε από τους Leydesdorff and Etzkowitz (1996), που υποστηρίζουν πως οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ πανεπιστημίων, βιομηχανίας και κυβέρνησης είναι κρίσιμοι παράγοντες που καθορίζουν τις προϋποθέσεις για τη διαδικασία καινοτομίας (Etzkowitz and Leydesdorff, 2000). Και οι δύο προσεγγίσεις (ΣΚ και μοντέλο «N-ελίκων καινοτομίας») είναι εννοιολογικά πλαίσια, που αντιλαμβάνονται την καινοτομία ως δραστηριότητες, αλληλεξαρτήσεις και αλληλεπιδράσεις μεταξύ ετερογενών υποκειμένων που συν-λειτουργούν και συν-εξελίσσονται.

Στην προσέγγισή μας, συνδυάζουμε τα πλαίσια των ΕΣΚ και των «N-Ελίκων καινοτομίας» και χρησιμοποιούμε τη ΣΔ για να απεικονίσουμε και να

εξετάσουμε τις αλληλεξαρτήσεις και τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ ετερογενών δρώντων στα υποσυστήματα των ελίκων.

Εντός των ΕΣΚ, ένα σύνολο οργανισμών (π.χ. επιχειρήσεις, πανεπιστήμια και κυβερνήσεις) αλληλεπιδρούν, ασύμμετρα σε ένα συναγωνιστικό παιχνίδι, στην παραγωγή, διάδοση και χρήση νέων και οικονομικά χρήσιμων γνώσεων. Η συμπεριφορά των ΕΣΚ προκύπτει από αυτές τις αλληλεπιδράσεις των διαφόρων δρώντων (Lundvall, 2016).

Στον πυρήνα των ΕΣΚ, οι επιχειρήσεις διαδραματίζουν τον πιο σημαντικό ρόλο. Σύμφωνα με τον Lundvall (2016), οι επιχειρήσεις καινοτομούν αλληλεπιδρώντας με άλλες επιχειρήσεις και με υποδομές γνώσης, και αναπτύσσουν δύο τύπους καινοτομίας: α) τη βασισμένη στην επιστήμη και τη τεχνολογία καινοτομία (STI),<sup>3</sup> και β) τη μάθηση μέσω πράξης, χρήσης και αλληλεπίδρασης (DUI).<sup>4</sup> Οι επιχειρήσεις, ως δεξαμενές γνώσης, αποτελούν τους κινητήρες για την τεχνολογική ανάπτυξη και τη δημιουργία πλούτου (Etzkowitz and Ranga, 2015).

Οι κυβερνήσεις επηρεάζουν επίσης τη διαδικασία της καινοτομίας, ενισχύοντας τις υποδομές επιστήμης και τεχνολογίας (Teubal *et al.*, 2013), βελτιώνοντας το κανονιστικό πλαίσιο και γενικότερα τους θεσμικούς όρους, καθώς και μέσω προμηθειών και πολιτικών πρωτοβουλιών (Mazzucato, 2016; Edquist, 2011). Οι κυβερνήσεις δημιουργούν, διατηρούν και προσαρμόζουν θεσμούς όπως το νομικό σύστημα, το σύστημα κατοχύρωσης διπλωμάτων ευρεσιτεχνίας και το φορολογικό σύστημα.

Τα πανεπιστήμια - γενικότερα ο ακαδημαϊκός χώρος - έχουν στρατηγικό ρόλο στην ανάπτυξη ανθρώπινου κεφαλαίου και στη δημιουργία γνώσης ενώ αποτελούν και «σπόρο» νέων επιχειρήσεων (Etzkowitz *et al.*, 2000). Εκτός από τη διδασκαλία (1<sup>η</sup> αποστολή) και την έρευνα (2<sup>η</sup> αποστολή), το «επιχειρηματικό πανεπιστήμιο» περιλαμβάνει μια «τρίτη αποστολή» οικονομικής ανάπτυξης, ενισχύοντας τους δεσμούς με τους χρήστες γνώσης

---

<sup>3</sup> Science and technology-based innovation mode.

<sup>4</sup> Learning by Doing, Using and Interacting.

και διευκολύνοντας τη μεταφορά τεχνολογίας (Compagnucci and Spigarelli, 2020).

Στο υπάρχον μοντέλο των πέντε ελίκων καινοτομίας (*Quintuple Helix Innovation Model*), η κοινωνία των πολιτών σχετίζεται με ζητήματα όπως «μέσα μαζικής ενημέρωσης», «πολιτισμός», «τέχνη», «δημιουργική τάξη» και με «από κάτω προς τα πάνω» δράσεις, ενώ το φυσικό περιβάλλον σχετίζεται με οικολογικά ζητήματα που επηρεάζουν την κατεύθυνση της παραγωγή γνώσης και την καινοτομία (Park, 2014). Ωστόσο, οι περιβαλλοντικοί παράγοντες δεν υπόκεινται σε έλεγχο εντός του συστήματος, καθώς παρουσιάζουν εξωτερική δράση και ως εκ τούτου δεν θα πρέπει να εκλαμβάνονται ως συστατικά του συστήματος (Hughes, 1987).

Αντιθέτως, το χρηματοπιστωτικό σύστημα (π.χ. κεφάλαια επιχειρηματικού κινδύνου, χρηματιστήρια και τράπεζες) αποτελεί ένα σημαντικό διαρθρωτικό στοιχείο των ΕΣΚ λόγω της αβεβαιότητας των καινοτόμων προσπαθειών (Christensen, 2010; Wonglimpiyarat, 2011). Αν και ο χρηματοπιστωτικός τομέας παρουσιάζεται ως υποσύστημα των ΕΣΚ σε διάφορες μελέτες (Lee and von Tunzelmann, 2005; Lee, 2006; Samara *et al.*, 2012) δεν περιλαμβάνεται στο μοντέλο «N-Ελίκων καινοτομίας», ως διακριτή έλικα. Στην προσέγγισή μας, το χρηματοπιστωτικό υποσύστημα παρουσιάζεται ως πέμπτη έλικα αντί του φυσικού περιβάλλοντος.

### 3. Η Συστημική Δυναμική (ΣΔ) και η εφαρμογή της στα ΕΣΚ

Η ΣΔ καθιερώνεται ως κατάλληλη μέθοδος για την ανάπτυξη δυναμικών μοντέλων για την αντιμετώπιση της δομικής και λειτουργικής πολυπλοκότητας των διαδικασιών καινοτομίας σε εθνικό επίπεδο, καθώς παρέχει στους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής ισχυρά εργαλεία για τη κατανόηση (*sense-making*), την πρόβλεψη και τη λήψη αποφάσεων (Ricciardi *et al.*, 2020). Στην Ενότητα 3.1, παρουσιάζουμε τη μέθοδο και στην Ενότητα 3.2, παρέχουμε μια σύντομη ανασκόπηση μελετών που εφάρμοσαν τη ΣΔ σε ΕΣΚ.

### 3.1 Η Μέθοδος της Συστημικής Δυναμικής (ΣΔ)

Η ΣΔ είναι μια τεχνική υπολογιστικής προσομοίωσης που αναλύει ολιστικά σύνθετα μη-γραμμικά δυναμικά συστήματα ανατροφοδότησης με σκοπό τη δημιουργία πληροφοριών και το σχεδιασμό πολιτικών που θα βελτιώσουν την απόδοση του συστήματος.

Τα σύνθετα συστήματα αποτελούνται από δρώντες οριοθετημένης λογικής (*boundedly rational agents*), βρόχους ανατροφοδότησης, μη γραμμικότητα και χρονικές καθυστερήσεις (Sterman, 2000; Uriona and Grobbelaar, 2019). Η ΣΔ υποθέτει ότι τα συστημικά μοντέλα είναι δομικές αναπαραστάσεις του πραγματικού συστήματος που στοχεύουν στη δημιουργία ενδογενών ερμηνειών για τη συμπεριφορά του συστήματος και των προβλημάτων που αντιμετωπίζουν (Richardson, 2011).

Στη μέθοδο της ΣΔ, υπάρχουν τρεις βασικοί τρόποι αναπαραγωγής των συστημάτων: α) διαγράμματα αιτιότητας, που επισημαίνουν τη δομή ανάδρασης του συστήματος, β) διαγράμματα συσσώρευσης-ροής, τα οποία χρησιμεύουν στην κατανόηση της δυναμικής συμπεριφοράς του συστήματος, μέσω υπολογιστικών προσομοιώσεων, και γ) διαφορικές εξισώσεις (Sterman, 2000).

Στη ΣΔ, η δομή ενός συστήματος αποτελείται από αποθέματα (συσσωρεύσεις), ροές και βρόχους ανατροφοδότησης (ενισχυτικούς ή θετικούς και εξισορροπητικούς ή αρνητικούς). Οι μεταβλητές αποθεμάτων (επίπεδα) είναι οι συσσωρεύσεις του συστήματος, ενώ οι μεταβλητές ροής (ρυθμοί) αντιπροσωπεύουν τις δραστηριότητες στο σύστημα, που προκύπτουν από τη διαδικασία λήψης αποφάσεων.

Ο βρόχος ανατροφοδότησης δημιουργεί δυναμική στα συστήματα· χωρίς τέτοια ανάδραση, τα συστήματα είναι στατικά. Οι ενισχυτικοί ή θετικοί βρόχοι ανάδρασης (*Reinforcing*) μπορούν να θεωρηθούν ως μηχανισμός ενίσχυσης τάσεων που μπορεί να οδηγήσει σε κλιμάκωση και απώλεια ελέγχου, ενώ ένας εξισορροπητικός ή αρνητικός βρόχος ανάδρασης

(*Balancing*) θα πρέπει να νοείται ως αντισταθμιστικός, που συχνά ερμηνεύεται ως δύναμη που επιδιώκει έναν στόχο.

Ο συνδυασμός του μοντέλου «N-Ελίκων καινοτομίας» και της ΣΔ διευκολύνει έναν ουσιαστικό τρόπο διερεύνησης και κατανόησης της λειτουργικής δυναμικής που αναδύεται μεταξύ ετερογενών δρώντων. Ικανοποιεί την ανάγκη για μια αναπαράσταση του πραγματικού κόσμου που περιγράφει κατάλληλα τις τροχιές εξέλιξης των ΕΣΚ έτσι ώστε να μπορούν να εκτιμηθούν οι μελλοντικές τάσεις (Phillips and Linstone, 2016).

### 3.2 Μοντέλα συστημικής δυναμικής των ΕΣΚ: μια σύντομη ανασκόπηση

Πρόσφατες έρευνες έχουν αναδείξει την αξία της προσομοίωσης για τη διερεύνηση σύνθετων κοινωνικών και οικονομικών φαινομένων, όπως η καινοτομία (Malerba *et al.*, 2008; Uriona and Grobbelaar, 2019).

Αρκετοί μελετητές χρησιμοποιούν τη ΣΔ για να διερευνήσουν τη συμπεριφορά των ΣΚ σε εθνικό επίπεδο (Lee and von Tunzelmann, 2005; Grobbelaar and Buys, 2005; Samara *et al.*, 2012; Castellacci and Dizyee, 2019; Maruccia *et al.*, 2020). Στον Πίνακα 1, παρουσιάζουμε μια σύνοψη της βιβλιογραφικής ανασκόπησης που αφορά στην εφαρμογή της ΣΔ σε ΕΣΚ.

Παρά τη χρησιμότητά τους, τα μοντέλα ΣΔ εστιάζουν συνήθως σε συγκεκριμένα τμήματα ενός ΕΣΚ, χάνοντας τη συνολική εικόνα και υποτιμούν τη μάθηση μέσω της πράξης, της χρήσης και της αλληλεπίδρασης (Uriona and Grobbelaar, 2019). Επιπλέον, οι περισσότερες μελέτες ΣΔ έχουν επικεντρωθεί έως τώρα κυρίως σε περιφερειακές χώρες (π.χ. Ταϊβάν, Νότια Αφρική, Βραζιλία, Κούβα) χωρίς συγκρίσεις χωρών.

Πίνακας 1. Μια ανασκόπηση μελετών ΣΔ σε ΕΣΚ

Συγγραφέας (-εις)	Χώρα	Υποσυστήματα/Δρώντες	Τύπος (-οι) Διαγράμματος	Ευρήματα
Lee and von Tunzelmann (2005)	Ταϊβάν	Χρηματοπιστωτικός τομέας, Ανθρώπινοι πόροι, Επιστήμη & Τεχνολογία, Εμπορευματοποίηση Καινοτομίας, Αγορά προϊόντων	Διαγράμματα αιτιότητας	Όσο μικρότερος είναι ο χρόνος προσαρμογής, τόσο γρηγορότερος είναι ο ρυθμός καινοτομίας. Όσο μεγαλύτερη είναι η καθυστέρηση, τόσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος προσαρμογής στον επιθυμητό στόχο.
Grobbelaar and Buys (2005)	Νότια Αφρική	Δημόσιος, Επιχειρηματικός, Εκπαιδευτικός	Διαγράμματα αιτιότητας & Διαγράμματα συσώρευσης-ροής	Εννοιολογικό πλαίσιο για τη δημιουργία, συσώρευση και απορρόφηση γνώσεων για τους τρεις τομείς του συστήματος E&A.
Lan (2008)	Κίνα	Βιομηχανία, Πανεπιστήμια, Ερευνητικά Ιδρύματα, Κυβέρνηση	Διαγράμματα αιτιότητας	Χάσμα μεταξύ της Κίνας και των ανεπτυγμένων χωρών (Αμερική, Ιαπωνία και Κορέα) λόγω της έλλειψης αλληλεξάρτησης μεταξύ βιομηχανίας, πανεπιστημίων και ερευνητικών ιδρυμάτων.
Samara <i>et al.</i> (2012)	Ελλάδα	Γνώση & Ανθρώπινοι πόροι, Δραστηριότητες Έρευνας, Συνθήκες Αγοράς, Θεσμικό Περιβάλλον Οικονομικό σύστημα, Διαδικασία Καινοτομίας, Τεχνολογική Απόδοση	Διαγράμματα αιτιότητας & Διαγράμματα συσώρευσης-ροής	«Πειραματικό» εργαλείο για την αναπαραγωγή ιστορικών αποτελεσμάτων και τον έλεγχο της αποτελεσματικότητας εναλλακτικών σεναρίων πολιτικής καινοτομίας. Για την Ελλάδα: οι θεσμικές συνθήκες παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη επίδραση στις επιδόσεις



Castellacci and Dizyee (2019)	Κούβα	Παραγωγή, Επιστήμη & Τεχνολογία, Εκπαίδευση & Ανθρώπινο κεφάλαιο, Πληθυσμός & Υγεία	Διαγράμματα αιτιότητας	καινοτομίας. Βέλτιστο σχήμα πολιτικής: Αύξηση του βαθμού ιδιωτικοποίησης της οικονομίας και των δημόσιων επενδύσεων E&A.
Maruccia <i>et al.</i> (2020)	Γενικευμένο μοντέλο (για πολλαπλές χώρες)	Βιομηχανία, Κυβέρνηση, Κοινωνία, Πανεπιστήμιο, Περιβάλλον	Διαγράμματα αιτιότητας	Κατανόηση των επιπτώσεων ορισμένων δράσεων εντός των ΕΣΚ και δημιουργία ευαισθητοποίησης σχετικά με τη σύνθεση πολλών ενδιαφερομένων μερών της κοινότητας καινοτομίας που ενεργεί σε εθνικό επίπεδο.

Στη μελέτη μας, η εξέλιξη των ΕΣΚ εκλαμβάνεται ως μια διαδικασία που επηρεάζει τόσο το σωρευτικό σύνολο πόρων των δρώντων όσο και τη γνωστική και τη θεσμική προικοδότηση του ΣΚ (Stamboulis, 2007). Πιο εξελιγμένα εννοιολογικά πλαίσια, τα οποία λαμβάνουν υπόψη τη δέσμευση πόρων και τη στρατηγική συμπεριφορά ετερογενών δρώντων (π.χ. επιχειρήσεις, πανεπιστήμια, κοινωνία, χρηματοπιστωτικό σύστημα, δημόσιες αρχές) και τις αμοιβαίες αλληλεπιδράσεις τους, μπορούν να συμβάλλουν στην κατανόηση των διαφορετικών τροχιών εξέλιξης των ΕΣΚ. Μια πληθώρα βρόχων ανατροφοδότησης προκύπτει μέσω των αλληλεπιδράσεων αυτών των δρώντων, επηρεάζοντας τη συνολική απόδοση του συστήματος. Οι δρώντες των ΕΣΚ αποτελούν παράγοντες που επιτρέπουν τη διαρθρωτική/δομική αλλαγή και, για να την κατανοήσουμε, είναι σημαντικό να ληφθούν υπόψη οι αποφάσεις και οι συμπεριφορές τους (σχετικά με τη δέσμευση πόρων, τη συνεργασία και τις ανταγωνιστικές απαντήσεις-αποκρίσεις).

#### 4. Μοντελοποίηση της δυναμικής των ΕΣΚ

Υιοθετούμε μια ευρεία έννοια των ΕΣΚ που περιλαμβάνει όχι μόνο θεσμούς που εμπλέκονται άμεσα και ρητά στην Ε&Α, αλλά και στα κοινωνικά, οικονομικά και πολιτικά πεδία της καινοτομίας. Στόχος μας είναι να αναπτύξουμε ένα - βασισμένο στις έλικες - μοντέλο ΣΔ που υπερβαίνει τη στατικότητα των πινάκων επιδόσεων καινοτομίας και τα γραμμικά μοντέλα. Το μοντέλο δείχνει πώς οι αλλαγές σε μεμονωμένες παραμέτρους - μιας έλικας - μπορεί να έχουν μη-γραμμικά πολύπλοκα αποτελέσματα στο σύνολο του ΕΣΚ. Αναμένουμε να εντοπίσουμε τις *προεξοχές* (τα πιο αποτελεσματικά συστατικά του συστήματος) και τις *ανάστροφες προεξοχές* (στοιχεία εκτός φάσης ή που υστερούν σε απόδοση) που προκύπτουν μέσω της εξέλιξης των ΕΣΚ.

Στην Ενότητα 4.1, αναπτύσσουμε τη δυναμική μας υπόθεση με τη χρήση ενός διαγράμματος αιτιότητας που απεικονίζει τους ενισχυτικούς και εξισορροπητικούς βρόχους αλληλεπίδρασης, συνεργασίας και συντονισμού

μεταξύ και εντός των πέντε υποσυστημάτων-ελίκων. Στην Ενότητα 4.2, παρουσιάζουμε ένα διάγραμμα συσώρευσης-ροής που εξηγεί τις αμοιβαίες αλληλεπιδράσεις μεταξύ των διαφόρων υποσυστημάτων.

#### 4.1 Η Δυναμική υπόθεση του συστήματος καινοτομίας

Το Σχήμα 1 αποτυπώνει τη δυναμική υπόθεση των σχέσεων αιτιότητας που λειτουργούν εντός των ΣΚ με τη μορφή ενός διαγράμματος αιτιότητας<sup>5</sup> που απεικονίζει τις αλληλεπιδράσεις εντός και μεταξύ των ελίκων της βιομηχανίας, της ακαδημίας, της κυβέρνησης, της κοινωνίας και του χρηματοπιστωτικού συστήματος. Από το διάγραμμα αιτιότητας εντοπίζουμε τους σημαντικότερους ενισχυτικούς και εξισορροπητικούς βρόχους.

Ο πρώτος ενισχυτικός βρόχος (R1) δείχνει ότι αυξημένες επενδύσεις των επιχειρήσεων στην E&A προσελκύουν προσωπικό για δραστηριότητες E&A που ενισχύουν περαιτέρω τη συσσωρευμένη γνώση των επιχειρήσεων. Η αυξημένη γνώση οδηγεί σε περισσότερα αποτελέσματα καινοτομίας (νέα προϊόντα ή/και διαδικασίες), τα οποία οδηγούν σε αποδόσεις σε δραστηριότητες καινοτομίας που, τελικά, επιβεβαιώνουν τη συμπεριφορά της δέσμευσης των πόρων για καινοτομία, οδηγώντας σε περαιτέρω επενδύσεις στην E&A (Galanakis, 2006; Lee and von Tunzelmann, 2005; Stamboulis *et al.*, 2002; Samara *et al.*, 2012; Choi *et al.*, 2016).

Επιπλέον, η απόδοση της καινοτομίας οδηγεί σε αύξηση των κεφαλαίων επιχειρηματικού κινδύνου που ενισχύουν την ανάπτυξη νέων καινοτόμων επιχειρήσεων (π.χ. νεοφυείς). Ο αυξημένος αριθμός καινοτόμων επιχειρήσεων οδηγεί σε αύξηση των επιχειρηματικών δαπανών σε E&A δημιουργώντας έναν δεύτερο ενισχυτικό βρόχο ανάδρασης (R2), παρόμοιο με το πρώτο (R1).

Ομοίως με τους βρόχους R1 και R2, ένας τρίτος ενισχυτικός βρόχος (R3) διαπιστώνεται μέσω των αιτιωδών σχέσεων «*αριθμός καινοτόμων*

---

<sup>5</sup> Η δομή ενός συστήματος στη ΣΔ αποτυπώνεται από διαγράμματα αιτιότητας. Ένα διάγραμμα αιτιότητας αντιπροσωπεύει τους βασικούς μηχανισμούς ανατροφοδότησης. Αυτοί οι μηχανισμοί είναι βρόχοι είτε αρνητικής ανατροφοδότησης (εξισορρόπηση) είτε θετικής (ενίσχυση). Τα διαγράμματα αιτιότητας επιτρέπουν τη χαρτογράφηση συστημάτων, την αναγνώριση βρόχων, τον προσδιορισμό της πολικότητάς τους (+ και R ή - και B) και την επικοινωνία σχετικά με συγκεκριμένους βρόχους ή ομάδες βρόχων (Sterman, 2000).

επιχειρήσεων-δαπάνες επιχειρήσεων σε E&A-προσωπικό επιχειρήσεων σε E&A-επιχειρηματική δραστηριότητα σε E&A-συσσωρευμένη γνώση-αποτελέσματα καινοτομίας-αποδόσεις καινοτομίας-αριθμός καινοτόμων επιχειρήσεων». Καθώς ο αριθμός των καινοτόμων επιχειρήσεων αυξάνεται, υπάρχει τόνωση των επενδύσεων σε (δέσμευση για) E&A. Η αύξηση των επιχειρηματικών επενδύσεων E&A οδηγεί σε αύξηση του προσωπικού E&A στις επιχειρήσεις. Το αυξημένο προσωπικό που ασχολείται με τη δραστηριότητα E&A ενισχύει τη συσσωρευμένη γνώση στις επιχειρήσεις, γεγονός που αυξάνει περαιτέρω τα αποτελέσματα της καινοτομίας. Η αύξηση των αποτελεσμάτων καινοτομίας οδηγεί σε αύξηση της απόδοσης της καινοτομίας (υπό όρους για επενδύσεις σε συμπληρωματικά στοιχεία ενεργητικού). Καθώς αυτές οι αποδόσεις αυξάνονται, υπάρχει μεγαλύτερο κίνητρο για καινοτόμες επιχειρήσεις.

Ο τέταρτος ενισχυτικός βρόχος (R4) υποδηλώνει πως αυξημένες επενδύσεις στην E&A τριτοβάθμιας εκπαίδευσης οδηγούν σε αύξηση του ακαδημαϊκού προσωπικού (ερευνητές), και ο αυξημένος αριθμός τους ενισχύει την ερευνητική δραστηριότητα (π.χ. νέα επιστημονικά άρθρα, συμμετοχή σε ερευνητικά έργα) που οδηγεί σε νέα ερευνητικά αποτελέσματα. Τα αυξημένα ερευνητικά αποτελέσματα ενδυναμώνουν την ποιότητα του ακαδημαϊκού τομέα που παρακινεί νέες επενδύσεις για έρευνα (Rodríguez and Navarro-Chávez, 2015; Rad *et al.*, 2015).

Η αύξηση των φοιτητών τριτοβάθμιας εκπαίδευσης (προπτυχιακοί, μεταπτυχιακοί και υποψήφιοι διδάκτορες) οδηγεί σε αύξηση των αποφοίτων από την τριτοβάθμια εκπαίδευση. Αυτοί οι απόφοιτοι αποτελούν ένα κεντρικό απόθεμα γνώσεων ενός ΕΣΚ και έναν από τους κύριους μηχανισμούς της διάχυσης γνώσεων από τον ακαδημαϊκό χώρο. Ο πέμπτος ενισχυτικός βρόχος ανατροφοδότησης (R5) δείχνει ότι το αυξημένο επίπεδο εκπαίδευσης οδηγεί σε αυξημένη ζήτηση για βελτίωση της ποιότητας των θεσμών (Botero *et al.*, 2013). Η αυξημένη ποιότητα των θεσμών μειώνει τη τάση των ειδικευμένων εργαζομένων (Ngoma and Ismail, 2013; Dimant *et al.*, 2013) να μεταναστεύσουν και έτσι μειώνουν τη «διαρροή εγκεφάλων», η οποία - εάν

δεν αντιμετωπίζεται - μειώνει το μερίδιο του πληθυσμού με τριτοβάθμια εκπαίδευση (Tritah, 2008).

Ένας αντίστοιχος ενισχυτικός βρόχος (R6) περιγράφει τις αιτιώδεις σχέσεις μεταξύ «*απόφοιτοι τριτοβάθμιας εκπαίδευσης-πιέσεις για καλύτερη ποιότητα θεσμών-ποιότητα των θεσμών-αριθμός καινοτόμων επιχειρήσεων-δαπάνες επιχειρήσεων σε E&A-προσωπικό επιχειρήσεων σε E&A-ανεργία-διαρροή εγκεφάλων-απόφοιτοι τριτοβάθμιας εκπαίδευσης*». Καθώς το αυξανόμενο επίπεδο εκπαίδευσης οδηγεί σε αύξηση της ποιότητας των θεσμών, δημιουργούνται νέες επιχειρήσεις λόγω περισσότερο ευνοϊκών συνθηκών (Cieślik and Goczek, 2018; Alam *et al.*, 2019). Τόσο οι νέες όσο και οι υφιστάμενες καινοτόμες επιχειρήσεις θα αυξήσουν τις επενδύσεις τους στην E&A - με βάση τη δέσμευση πόρων - προσελκύοντας νέο προσωπικό σε E&A. Η αύξηση του προσωπικού E&A στις επιχειρήσεις οδηγεί σε μείωση της ανεργίας και κατά συνέπεια μείωση της μετανάστευσης εργαζομένων υψηλής ειδίκευσης. Επομένως, η μείωση της «*διαρροής εγκεφάλων*» οδηγεί σε αύξηση του αριθμού των αποφοίτων με τριτοβάθμια εκπαίδευση στο σύστημα.

Ο έβδομος ενισχυτικός βρόχος ανάδρασης (R7) εξηγεί ότι η αύξηση των αποτελεσμάτων της καινοτομίας οδηγεί σε μείωση της απόστασης μιας χώρας από το παγκόσμιο τεχνολογικό σύνορο/όριο και τα πιο ανεπτυγμένα ΕΣΚ (επιτυχημένο 'catch-up'). Καθώς αυτή η απόσταση αυξάνεται, μια χώρα παρουσιάζει λιγότερες ευκαιρίες συμμετοχής σε παγκόσμιες αλυσίδες αξίας (ΠΑΑ) (Ye *et al.*, 2020). Ωστόσο, η μεγαλύτερη συμμετοχή σε παγκόσμια δίκτυα και αλυσίδες αξίας ενισχύει τις συνεργασίες και τη μάθηση μέσω αλληλεπιδράσεων από το εξωτερικό (εξωτερικές πηγές γνώσης) που ενισχύουν περαιτέρω το απόθεμα γνώσεων στη βιομηχανία (Tajoli and Felice, 2018; Kergroach, 2019). Όπως προαναφέρθηκε, η αύξηση της γνώσης ενισχύει τα αποτελέσματα της καινοτομίας.

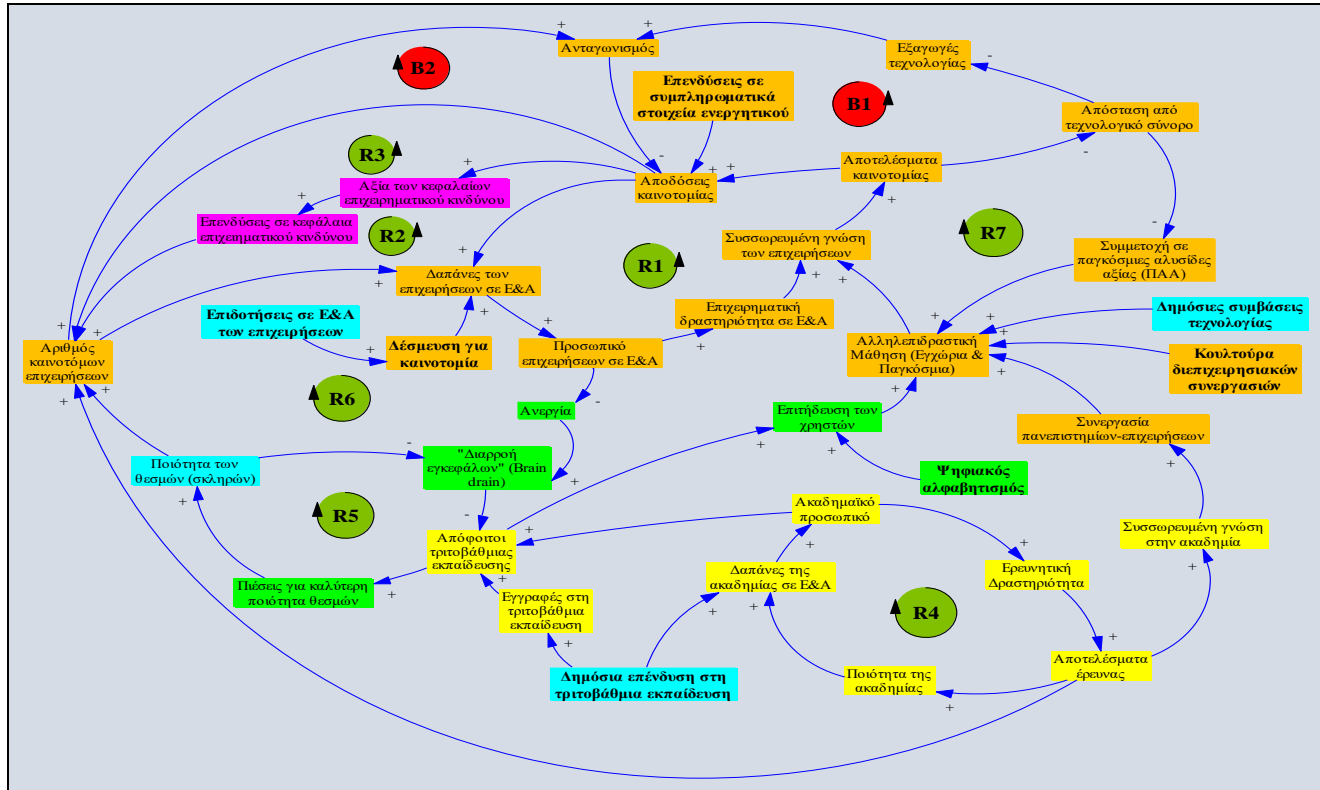
Πρέπει να τονίσουμε πως οι ενισχυτικοί βρόχοι μπορεί να λειτουργούν και στις δύο κατευθύνσεις, οδηγώντας σε αύξηση ή μείωση των σχετικών συμπεριφορών και αποτελεσμάτων. Ως εκ τούτου, υπάρχει ένα ζήτημα κρίσιμης μάζας που δεν μπορεί να απεικονιστεί σε ένα διάγραμμα αιτιότητας,

αλλά θα πρέπει να καταγραφεί στο διάγραμμα συσσώρευσης-ροής, που παρουσιάζεται στην επόμενη ενότητα.

Όσον αφορά τους εξισορροπητικούς βρόχους, ο πρώτος (B1) περιγράφει πως περισσότερα αποτελέσματα καινοτομίας μειώνουν την απόσταση μιας χώρας από το παγκόσμιο τεχνολογικό σύνορο/όριο, ενώ μια αυξημένη απόσταση από αυτό θα μειώσει την απορρόφηση της τεχνολογίας καθώς και τις εξαγωγές (Özak, 2018). Οι αυξημένες εξαγωγές - μεσαίας και υψηλής τεχνολογίας - ενισχύουν περαιτέρω την έκθεση σε έντονο ανταγωνισμό και ο υψηλότερος ανταγωνισμός μεταξύ των επιχειρήσεων μειώνει την απόδοση της καινοτομίας.

Ένας δεύτερος εξισορροπητικός βρόχος (B2) αναγνωρίζεται μέσω της σχέσης έντονου ανταγωνισμού, απόδοσης της καινοτομίας και αριθμού καινοτόμων επιχειρήσεων. Η αύξηση των τελευταίων οδηγεί σε αύξηση του ανταγωνισμού (Amendola *et al.*, 2000) και ο αυξημένος ανταγωνισμός μειώνει τις αποδόσεις της καινοτομίας. Όπως προαναφέρθηκε, οι αυξημένες αποδόσεις καινοτομίας (ως «παράθυρα ευκαιριών») ενισχύουν τη δημιουργία νέων καινοτόμων επιχειρήσεων.

Σχήμα 1. Διάγραμμα αιτιότητας των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των ελίκων<sup>6</sup> σε ΕΣΚ



<sup>6</sup> Χρησιμοποιούμε διαφορετικά χρώματα για να διευκολύνουμε τη διάκριση μεταξύ των ελίκων: πορτοκαλί για τη βιομηχανία, κίτρινο για την ακαδημία, γαλάζιο για την κυβέρνηση, πράσινο για την κοινωνία και μωβ για το χρηματοπιστωτικό σύστημα. Οι έντονοι χαρακτήρες δηλώνουν μεταβλητές απόφασης/πολιτικής (π.χ. κρατικές δαπάνες για την τριτοβάθμια εκπαίδευση, επιδοτήσεις για E&A στις επιχειρήσεις).

Στην Ενότητα 4.2, αναπτύσσουμε, με βάση τη δυναμική υπόθεσή μας, μοντέλο της εξέλιξης της συμπεριφοράς των ΣΚ με τη χρήση διαγράμματος συσσώρευσης-ροής. Τα διαγράμματα αιτιότητας δεν αποδίδουν επαρκώς πώς οι ροές επηρεάζουν τα αποθέματα και πώς μπορεί να προκύψουν χρονικές καθυστερήσεις. Επιπλέον, σύμφωνα με τον Lane (2000) τα διαγράμματα αιτιότητας ενδέχεται να οδηγήσουν σε εσφαλμένη σήμανση των βρόχων και δεν παρέχουν επαρκή βάση για ακριβή επαγωγή της συμπεριφοράς.

#### 4.2 Μοντελοποιώντας τις αλληλεπιδράσεις των ετερογενών δρώντων

Τα διαγράμματα συσσώρευσης-ροής χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη του μαθηματικού μοντέλου και των διαφορικών εξισώσεων (Olivares-Aguila and ElMaraghy, 2020). Στα διαγράμματα συσσώρευσης-ροής, τα αποθέματα συμβολίζονται με ορθογώνια, οι μεταβλητές ροής με βαλβίδες, οι βοηθητικές μεταβλητές με κύκλους και οι σταθερές (παράμετροι μοντέλου) με ρόμβους (Sterman, 2000; Lane, 2000). Στο Σχήμα 2, παρουσιάζουμε το διάγραμμα συσσώρευσης-ροής που απεικονίζει τις αλληλεπιδράσεις των πέντε ελίκων εντός ενός ΕΣΚ.

Ένα τμήμα των επιχειρήσεων εμπλέκεται σε δραστηριότητες καινοτομίας και δεσμεύει οικονομικούς και ανθρώπινους πόρους για E&A. Οι επιχειρήσεις επιδιώκουν να ενισχύσουν την ανταγωνιστικότητά τους με δύο τρόπους. Πρώτον, επιδιώκουν να αναβαθμίσουν την ποιότητα και τη λειτουργικότητα των προϊόντων, που αποτελεί μορφή καινοτομίας προϊόντος και προκύπτει από την E&A. Δεύτερον, οι επιχειρήσεις επιδιώκουν να ελαχιστοποιήσουν το κόστος μέσω της καινοτομίας διαδικασίας με στόχο τη μεγιστοποίηση της αποδοτικότητας των πόρων που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή (Choi *et al.*, 2016). Οι επιχειρήσεις συνήθως δεν καινοτομούν μεμονωμένα, αλλά αλληλεπιδρούν με άλλους οργανισμούς μέσω πολύπλοκων σχέσεων που συχνά χαρακτηρίζονται από μηχανισμούς



αμοιβαιότητας και ανάδρασης μέσω ποικίλων βρόχων (Edquist, 2011). Η γνώση για προϊόντα και διαδικασίες είναι αποτέλεσμα και της δικτύωσης και αλληλεπιδραστικής μάθησης με άλλους φορείς όπως πανεπιστήμια, κρατικούς φορείς, επιχειρήσεις (διεπιχειρησιακές συνεργασίες και συμμαχίες) και τελικούς χρήστες (Edquist, 2011).

Απεικονίζουμε τη συσσωρευμένη γνώση (*accumulated knowledge*) ως πολυδιάστατη μεταβλητή αποθέματος (πίνακα δύο διαστάσεων για τη διάκριση καινοτομίας προϊόντος και διαδικασίας), ενώ η μάθηση (*learning*) είναι μεταβλητή ροής (δύο διαστάσεων) προσθέτοντας νέες γνώσεις (βλ. Σχήμα 2). Για να αποκτήσουν πρόσβαση σε οποιοδήποτε είδος γνώσης, οι επιχειρήσεις πρέπει να βελτιώσουν την ικανότητά τους να μάθουν, την «ικανότητα αφομοίωσης» (Cohen and Levinthal, 1990). Αυτή η ικανότητα επιτυγχάνεται μέσω της προηγούμενης συσσώρευσης γνώσης μέσω ποικίλων τρόπων μάθησης<sup>7</sup> (Muscio, 2007). Στο Σχήμα 2, δείχνουμε πως η συσσωρευμένη γνώση ενισχύει την αφομοιωτική ικανότητα (*absorptive capacity*) των επιχειρήσεων (έλικα της βιομηχανίας). Η εκροή της μεταβλητής «*accumulated knowledge*» αντιπροσωπεύει την απόσβεσή της (*depreciating knowledge*) λόγω της εξωγενούς τεχνολογικής αλλαγής (Grobbeelaar and Buys, 2005). Καθώς οι επιχειρήσεις αυξάνουν τη συσσωρευμένη γνώση τους, όχι μόνο μειώνουν την απόσταση τους από το παγκόσμιο τεχνολογικό σύνορο/όριο (*distance from technological frontier*), αλλά μπορούν και συμμετέχουν σε ΠΑΑ (*participation in GVCs*<sup>8</sup>) αυξάνοντας το ποσοστό απορρόφησης εξωτερικών γνώσεων. Ως αποτέλεσμα, αυξάνουν τις εγχώριες πωλήσεις και τις εξαγωγές τους (μεσαίας και υψηλής τεχνολογίας).

Στη πολυδιάστατη μεταβλητή ροής «*BERD projects*», η διάσταση των διαδικασιών επηρεάζει νέες διαδικασίες σχετικές με την καινοτομία (όπως τεχνικές αλλαγές, εξοπλισμού ή/και λογισμικού). Αυτές σχετίζονται με αυξημένη παραγωγικότητα και χαμηλότερο κόστος παραγωγής. Οι επιχειρήσεις επιτυγχάνουν αποδοτικότητα των δεσμευμένων πόρων (ανθρωπίνων και οικονομικών) και αυξημένη απόδοση (*return on innovation*)

<sup>7</sup> Εναλλακτικές πηγές μάθησης όπως μέσω πράξης και μέσω χρήσης και η απόκτηση άρρητης γνώσης διαδραματίζουν βασικό ρόλο στην ανάπτυξη αφομοιωτικής ικανότητας (Muscio, 2007).

<sup>8</sup> Global Value Chains.

που ενισχύουν περαιτέρω τις επενδύσεις σε δαπάνες E&A (*BER&D*). Σε αντίθεση με την καινοτομία διαδικασιών, η διάσταση της καινοτομίας προϊόντων - σε έργα E&A - ενισχύει νέα διαφοροποιημένα προϊόντα. Νέα επώνυμα προϊόντα με αναβαθμισμένη ποιότητα αυξάνουν περαιτέρω τις εγχώριες πωλήσεις και τις εξαγωγές μεσαίας και υψηλής τεχνολογίας. Και στις δύο περιπτώσεις, οι νέες πωλήσεις και οι εξαγωγές τεχνολογίας (*sales and tech exports*) συνδέονται με έργα E&A (*BERD projects*) μέσω της συσσωρευμένης γνώσης και της μειούμενης απόστασης από το παγκόσμιο τεχνολογικό σύνορο/όριο. Η διάκριση μεταξύ αυτών των δύο κύριων τύπων καινοτομίας (προϊόντος και διαδικασίας) παρουσιάζεται ευρέως σε διάφορες μελέτες ΣΔ (Samara *et al.*, 2012; Lee and von Tunzelmann, 2005; Stamboulis *et al.*, 2002; Choi *et al.*, 2016).

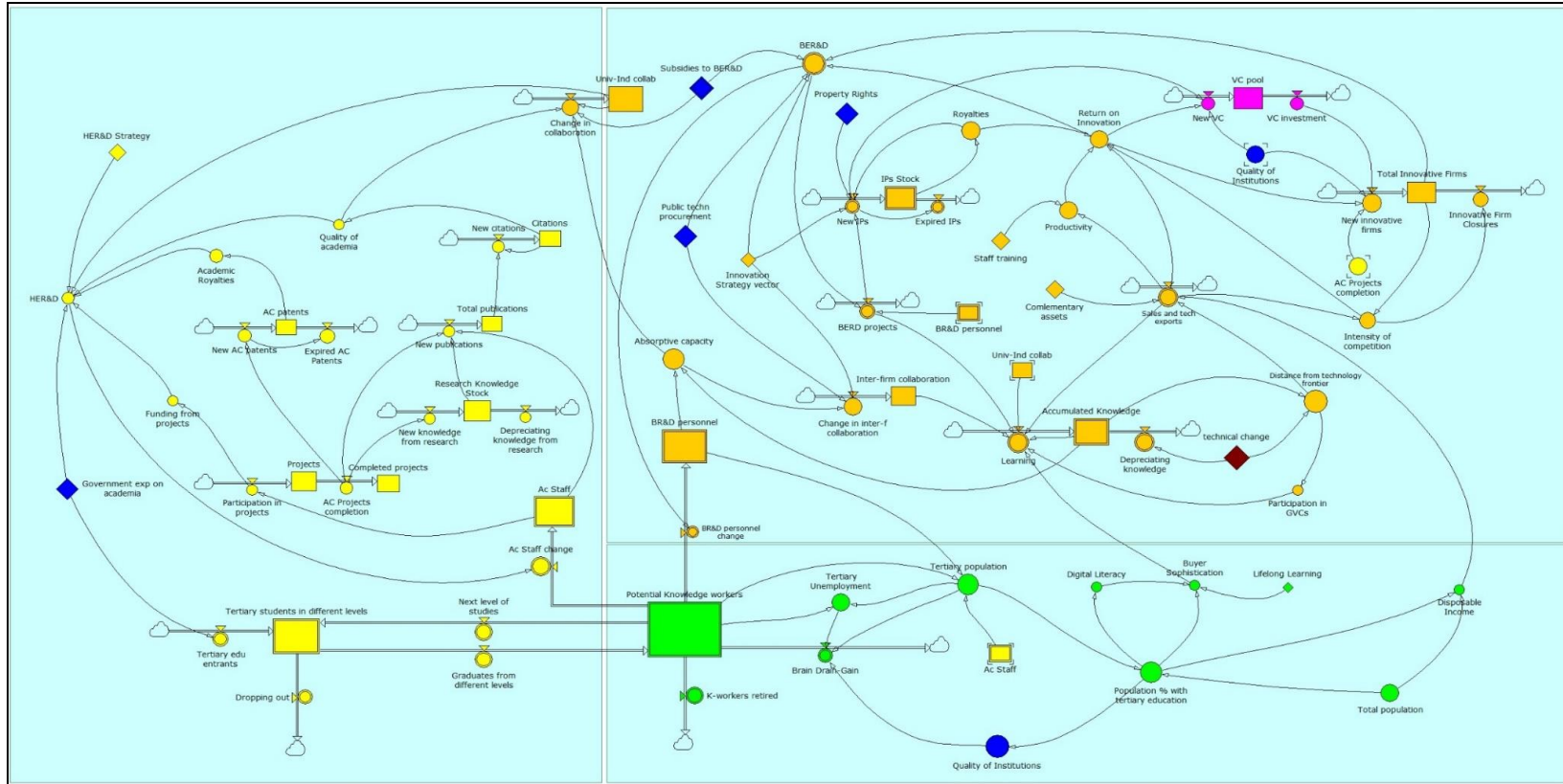
Τα προηγούμενα μοντέλα ΣΔ δεν περιλαμβάνουν δραστηριότητες E&A για κατοχύρωση πνευματικής ιδιοκτησίας στην ανάλυσή τους. Καθώς η καινοτομική δραστηριότητα (*BERD projects*) αυξάνεται, οι επιχειρήσεις βάσει της στρατηγικής τους (π.χ. επιθετική, αμυντική) παρουσιάζουν κίνητρα για την προστασία των νέων αποτελεσμάτων της δραστηριότητας καινοτομίας. Στο Σχήμα 2, η πολυδιάστατη μεταβλητή αποθέματος «*IPs stock*» (π.χ., ευρεσιτεχνίες και βιομηχανικά σχέδια) συνδέεται με τα δικαιώματα (*royalties*) που οδηγούν σε αυξημένες αποδόσεις καινοτομίας (Kondo, 1999). Καθώς η επιχείρηση παράγει και περικλείει περισσότερη γνώση, θα είναι πιο ελκυστική για τα κεφάλαια επιχειρηματικού κινδύνου (*VC pool*) (Niosi, 2003).

Όπως αναφέρεται στο δεύτερο εξισορροπητικό βρόχο, η αύξηση της απόδοσης καινοτομίας (*return on innovation*) ενθαρρύνει τη δημιουργία νέων καινοτόμων επιχειρήσεων (*new innovative firms*). Σε μαθηματικούς όρους, ο αριθμός των ενεργών καινοτόμων επιχειρήσεων (*total innovative firms*) αποτελεί το ολοκλήρωμα του ρυθμού γέννησης νέων καινοτόμων (εισροή) και του ρυθμού θανάτου των υφιστάμενων (εκροή). Κατά μία έννοια, προσπαθούμε να αποτυπώσουμε ένα μέρος της διαδικασίας «δημιουργικής καταστροφής» με τη χρήση αυτών των δύο μεταβλητών ροής. Ο μέσος ρυθμός δημιουργίας επιχειρήσεων και ο ρυθμός καταστροφής τους

αποτελούν το πιο συνηθισμένο μέτρο για τη δυναμική των επιχειρήσεων και της απασχόλησης (Aghion *et al.*, 2021).

Στην έλικα της ακαδημίας, τα πανεπιστήμια και τα ερευνητικά ιδρύματα είναι κεντρικοί παράγοντες στην εκπαίδευση, την έρευνα και τη «τρίτη αποστολή» (Sánchez-Barrioluengo, 2014). Η αποστολή της διδασκαλίας σχετίζεται με την ανάπτυξη ανθρώπινου κεφαλαίου με τη μορφή ειδικευμένου εργατικού δυναμικού. Οι αυξήσεις των κρατικών δαπανών για την τριτοβάθμια εκπαίδευση (*government expenditure on academia*) ενθαρρύνουν τους νεοεισερχόμενους στη τριτοβάθμια εκπαίδευση (*tertiary education entrants*). Σε κάθε στάδιο, οι απόφοιτοι εγκαταλείπουν το υποσύστημα και αποτελούν δυνητικούς εργαζόμενους με γνώσεις (*potential knowledge workers*), στην έλικα της κοινωνίας. Μερικοί μπορεί να συνεχίσουν την καριέρα τους στον ακαδημαϊκό χώρο και σε διαφορετικά στάδια (μεταπτυχιακοί, διδάκτορες και νέο ακαδημαϊκό προσωπικό), σε μια διαδικασία αλυσίδας πόρων (Dangerfield, 2014). Η είσοδος νεοεισερχομένων σε διαφορετικά επίπεδα της τριτοβάθμιας εκπαίδευσης και νέων αποφοίτων (ως δυνητικών εργαζομένων) παρουσιάζεται από τη σύνδεση της μεταβλητής ροής τριών διαστάσεων με τη μεταβλητή αποθέματος τριών διαστάσεων: «*tertiary students in different levels*» και «*potential knowledge workers*» (βλ. Σχήμα 2).

Σχήμα 2. Διάγραμμα συσώρευσης-ροής των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των ελίκων<sup>9</sup> σε ΕΣΚ



<sup>9</sup> Χρησιμοποιούμε πορτοκαλί για τη βιομηχανία, κίτρινο για την ακαδημία, γαλάζιο για την κυβέρνηση, πράσινο για την κοινωνία και μωβ για το χρηματοπιστωτικό σύστημα. Με έντονο κόκκινο χρώμα απεικονίζεται ο εξωγενής χαρακτήρας της τεχνολογικής αλλαγής.

Όσον αφορά την αποστολή της έρευνας, θεωρούμε την ερευνητική δραστηριότητα και εμπειρία (μετρούμενη από τον αριθμό δημοσιεύσεων και ερευνητικών έργων) ως ερευνητικά αποτελέσματα. Η αυξανόμενη συμμετοχή των πανεπιστημίων σε διεθνή προγράμματα (*participation in projects*) ενισχύει την απορρόφηση εξωτερικής γνώσης, η οποία συμβάλλει σε νέες επιστημονικές δημοσιεύσεις (*new publications*) και συνεπακόλουθες ετεροαναφορές (*new citations*). Ο αυξανόμενος αριθμός ετεροαναφορών ενισχύει την ποιότητα και τη φήμη της ακαδημίας (*quality of academia*) (Bejan *et al.*, 2020). Η τόνωση της ερευνητικής δραστηριότητας ενισχύει τη συσσωρευμένη γνώση στον ακαδημαϊκό χώρο (*research knowledge stock*) και την ποιότητά της, γεγονός που αυξάνει περαιτέρω τη συνεργασία μεταξύ επιχειρήσεων και πανεπιστημίων (*university-industry collaboration*). Αυτές οι συνεργασίες διευκολύνουν την αλληλεπιδραστική μάθηση (στην έλικας της βιομηχανίας) η οποία, με τη σειρά της, είναι μια βάση για καινοτομία (Edquist, 2011).

Τα τελευταία χρόνια, υπάρχει αυξανόμενη πίεση στα πανεπιστήμια, να επεκτείνουν το σκοπό τους από τη διδασκαλία και την έρευνα σε μια «τρίτη αποστολή», που περιγράφεται ως «συμβολή στην κοινωνία» (Compagnucci and Spigarelli, 2020). Τα ερευνητικά αποτελέσματα των έργων (*projects*) μπορούν να παρακινήσουν - μεταξύ άλλων - τη δημιουργία καινοτόμων επιχειρήσεων (π.χ. νεοφυών και τεχνοβλαστών) που επιταχύνουν τη διαδικασία της δημιουργικής καταστροφής. Επιπλέον, τα πανεπιστήμια που ασχολούνται με δραστηριότητες κατοχύρωσης διπλωμάτων ευρεσιτεχνίας (*academic patents*) μπορούν να αυξήσουν τα έσοδά τους μέσω δικαιωμάτων (*academic royalties*). Μέσω της αύξησης των ακαδημαϊκών διπλωμάτων ευρεσιτεχνίας, τα πανεπιστήμια αυξάνουν το εισόδημά τους από ακαδημαϊκές άδειες και μπορούν να επενδύσουν εκ νέου στη βασική έρευνα.

Όσον αφορά το ρόλο της κυβέρνησης, η βελτίωση του θεσμικού περιβάλλοντος (*quality of institutions*) μιας χώρας (π.χ. έλεγχος της διαφθοράς, μείωση γραφειοκρατίας, πολιτική σταθερότητα) επηρεάζει θετικά τόσο την πιθανότητα δημιουργίας επιχειρήσεων υψηλής τεχνολογίας (Pereira

and Temouri, 2018) όσο και την ελκυστικότητα σε επενδύσεις κεφαλαίων επιχειρηματικού κινδύνου (Bustamante *et al.*, 2021). Επιπλέον, η βελτίωση της ποιότητας των θεσμών θα μείωνε δυνητικά τη «διαρροή εγκεφάλων» και θα οδηγούσε στη διατήρηση εκείνων με υψηλά επίπεδα εκπαίδευσης (Dimant *et al.*, 2013).

Οι δραστηριότητες από την πλευρά της ζήτησης, όπως οι καινοτόμες δημόσιες συμβάσεις (*public technology procurement*), συμβάλλουν τόσο στην αλληλεπιδραστική μάθηση όσο και στο σχηματισμό αγορών νέων προϊόντων και στην άρθρωση των απαιτήσεων για ποιότητα (Edquist, 2011; Caravella and Crespi, 2020).

Από την πλευρά της προσφοράς, τα «παραδοσιακά» μέσα πολιτικών καινοτομίας όπως τα φορολογικά κίνητρα για E&A και οι άμεσες επιδοτήσεις στην E&A των επιχειρήσεων (*subsidies to BER&D*) στοχεύουν στη δημιουργία νέων γνώσεων και καινοτομιών (Edler and Fagerberg, 2017).

Στην έλικα της κοινωνίας, οι απόφοιτοι τριτοβάθμιας εκπαίδευσης (*graduates from different levels*) αποτελούν ένα κεντρικό απόθεμα γνώσεων (*potential knowledge workers*) σε ένα ΕΣΚ και έναν από τους κύριους μηχανισμούς της διάχυσης γνώσεων από την ακαδημία. Οι απόφοιτοι απολαμβάνουν υψηλότερο «ψηφιακό αλφαριθμητισμό» (*digital literacy*) και είναι πιο πιθανό να είναι εκλεπτυσμένοι χρήστες (παρά παθητικοί αγοραστές) και να αναπτύσσουν τις δεξιότητες και τις ικανότητές τους μέσω της δια βίου μάθησης (*lifelong learning*). Ως αποτέλεσμα, οι εκλεπτυσμένοι χρήστες (*sophisticated buyers*) συμμετέχουν στην αλληλεπιδραστική μάθηση χρήστη-παραγωγού (έλικα της βιομηχανίας).

Το χρηματοοικονομικό κεφάλαιο είναι ένας από τους απαραίτητους πόρους στα αρχικά στάδια ανάπτυξης των επιχειρήσεων, και το χρηματοπιστωτικό σύστημα καινοτομίας θεωρείται πως αποτελεί ένα σημαντικό υποσύστημα για την τόνωση της οικονομικής μεγέθυνσης μέσω της τεχνολογικής ανάπτυξης και εμπορευματοποίησης (Wonglimpiyarat, 2011). Στην ανάλυσή μας, επικεντρωνόμαστε στα κεφάλαια επιχειρηματικού κινδύνου (*VC pool*) και τη συμβολή τους στη δημιουργία νέων καινοτόμων

επιχειρήσεων. Η μεταβλητή αποθέματος σχετίζεται με το διαθέσιμο κεφάλαιο που μπορεί να επενδυθεί σε νέες καινοτόμες επιχειρήσεις με αντάλλαγμα συμμετοχή σε ίδια κεφάλαια. Η αύξηση της απόδοσης καινοτομίας (*return on innovation*) ενισχύει την αξία των επιχειρηματικών κεφαλαίων και την «όρεξη» τους για νέες επενδύσεις (*VC investment*).

Αδύναμα τμήματα μεταξύ και εντός των ελίκων λειτουργούν ως εμπόδια για τον ενάρετο κύκλο γνώσης και επηρεάζουν την εξελικτική πορεία των ΕΣΚ. Αυτά τα τμήματα μπορεί να αφορούν στη δημιουργία γνώσεων, στη δραστηριότητα Ε&Α, στην αλληλεπιδραστική μάθηση, στη συμμετοχή σε ΠΑΑ, στην εμπορευματοποίηση, στη ρύθμιση και το κανονιστικό πλαίσιο, στη χρηματοδότηση, στη ζήτηση κ.λπ.

Ανά πάσα στιγμή στην εξέλιξη του συστήματος, ορισμένοι βρόχοι ανατροφοδότησης μπορεί να έχουν μεγάλη επιρροή και άλλοι μπορεί να είναι ανενεργοί. Καθώς το σύστημα εισέρχεται σε νέες καταστάσεις (κρίσιμη μάζα σε συσσωρεύσεις), οι βρόχοι που είχαν περιορισμένο αντίκτυπο - μέχρι εκείνη τη στιγμή - στη συμπεριφορά του συστήματος, μπορεί ξαφνικά να κυριαρχούν, προκαλώντας ποιοτικές διαρθρωτικές αλλαγές στον τρόπο συμπεριφοράς του συστήματος (Richardson, 1995).

Σε σύγκριση με άλλες μελέτες ΣΔ, η προσέγγισή μας είναι μια προσπάθεια για μια ευρύτερη αντίληψη των ΕΣΚ που ενσωματώνουν σημαντικά ζητήματα όπως τη διαδικασία «δημιουργικής καταστροφής», τις διαφορετικές πηγές μάθησης (εγχώριες και παγκόσμιες), την «ανοικτότητα» μιας οικονομίας, την ποιότητα διακυβέρνησης, τις «τρεις αποστολές» της ακαδημίας και την ενεργή συμμετοχή των πολιτών στη διαδικασία της καινοτομίας.

Το μοντέλο λαμβάνει υπόψη την ετερογένεια των δρώντων (με βάση τις έλικες) και επισημαίνει τους βασικούς αιτιώδεις μηχανισμούς και τους πιθανούς βρόχους ανατροφοδότησης που διέπουν την εξέλιξη και την απόδοση των ΕΣΚ, χωρίς να υστερεί σε λεπτομερή πολυπλοκότητα.

Έτσι, οι βελτιώσεις στις πολιτικές καινοτομίας που βασίζονται σε προσδιορισμένα τμήματα υστέρησης και σημεία μόχλευσης του συστήματος μπορούν να συμβάλλουν ουσιαστικά στη συνολική απόδοση ολόκληρου του

συστήματος. Η ανάλυση εναλλακτικών σεναρίων, μπορεί να οδηγήσει στη μετάβαση από τους στατικούς πίνακες επίδοσης καινοτομίας (*static innovation scoreboards*) σε διεπιφάνειες δυναμικής παρακολούθησης και διαχείρισης πολιτικών καινοτομίας (*dynamic innovation dashboards*).<sup>5</sup>

## Συμπεράσματα

Παρουσιάσαμε εδώ ένα μοντέλο ΣΔ το οποίο συμβάλλει στην κατανόηση της εξέλιξης των ΕΣΚ. Το μοντέλο βασίζεται στην προσέγγιση των Ν-ελίκων καινοτομίας. Θεωρείται ότι το ΕΣΚ αποτελείται από πέντε έλικες-υποσυστήματα που αλληλοεπιδρούν ασύμμετρα σε ένα συναγωνιστικό παιχνίδι καινοτομικής δραστηριότητας. Οι δραστηριότητες των δρώντων πραγματοποιούνται με βάση τους πόρους που έχουν δεσμεύσει σε αυτές. Η δέσμευση-κατανομή πόρων εξαρτάται από τις προσδοκίες και την προηγούμενη εμπειρία των δρώντων, ενώ η στρατηγική στοχεύει στον καλύτερο δυνατό συντονισμό των επιμέρους στρατηγικών των δρώντων που συμμετέχουν στο ΕΣΚ, για την παραγωγή και αξιοποίηση καινοτομίας (Stamboulis, 2007).

Θεωρούμε πως η ένταση των αλληλεπιδράσεων εντός και μεταξύ των υποσυστημάτων μπορεί να εξηγήσει τις εξελικτικές πορείες των ΕΣΚ. Η έλλειψη συνεργιών μεταξύ των δρώντων συνεπάγεται αδυναμίες-ανεπάρκειες (σημεία υστέρησης) που επηρεάζουν τη συνολική απόδοση του συστήματος.

Κάθε ΕΣΚ έχει τη δική του ιστορία, εξάρτηση διαδρομής, θεσμούς, ρουτίνες που καθορίζουν την εξέλιξή του. Η προσέγγισή μας αποτελεί ένα εργαλείο ανάλυσης για τη μοντελοποίηση του συστήματος και τη βελτίωση των πολιτικών καινοτομίας, τονίζοντας τη δέσμευση πόρων για καινοτομία. Η χαρτογράφηση των κυρίαρχων βρόχων - στην ορολογία της ΣΔ - μπορεί να συμβάλλει στην κατανόηση των διαφορετικών προτύπων εξέλιξης των ΕΣΚ. Επιδιώκουμε να προσδιορίσουμε τα σημεία μόχλευσης - όπου η παρέμβαση πολιτικής θα έχει το 'μέγιστο' δυνατό αποτέλεσμα - και να προτείνουμε πολιτικές για τη βελτίωση της συνολικής απόδοσης του συστήματος, ως όλον. Το προτεινόμενο πλαίσιο επιτρέπει να αναπτύξουμε συνοπτικά μοντέλα, να



συγκρίνουμε και να κατανοήσουμε τον αντίκτυπο συγκεκριμένων επιλογών πολιτικής και της συμπεριφοράς των δρώντων.

Το μοντέλο αποτελεί ένα εργαλείο ανάλυσης που μπορεί να εμπλουτισθεί με περισσότερη εμβάθυνση στην χρηματοπιστωτική έλικα και ενσωμάτωση παραγόντων που αφορούν τα συμπληρωματικά στοιχεία ενεργητικού (π.χ. δραστηριότητες συμβουλευτικών και τεχνικών υπηρεσιών), τα χαρακτηριστικά της ζήτησης (π.χ. απαιτήσεις ποιότητας-αξίας, περιβαλλοντική-κοινωνική ευαισθητοποίηση) και τις λειτουργίες στήριξης της καινοτομίας και της επιχειρηματικότητας (π.χ. δραστηριότητες επώασης, διαμόρφωση προτύπων). Δίνει επίσης τη δυνατότητα ποσοτικοποίησης για τη συγκριτική ανάλυση και επεξεργασία σεναρίων.

### Χρηματοδότηση

Η ερευνητική εργασία υποστηρίχθηκε μερικώς από το Ελληνικό Ίδρυμα Έρευνας και Καινοτομίας (ΕΛ.ΙΔ.Ε.Κ.) στο πλαίσιο της Δράσης «Υποτροφίες ΕΛ.ΙΔ.Ε.Κ. Υποψηφίων Διδασκόντων» (Αριθμός Υποτροφίας: 455)

### Βιβλιογραφία

- Aghion, P., Antonin, C., & S. Bunel (2021) The Power of Creative Destruction. In *The Power of Creative Destruction*. Harvard University Press.
- Alam, A., Uddin, M., & H. Yazdifar (2019) Institutional determinants of R&D investment: Evidence from emerging markets. *Technological Forecasting and Social Change*, 138, 34-44.
- Amendola, M., Gaffard, J.L., & P. Musso (2000) Competition, innovation and increasing returns. *Economics of Innovation and New Technology*, 9(2), 149-181.
- Bejan, A., Gunes, U., & B. Sahin (2020) University Rankings: Quality, Size and Permanence. *European Review*, 28(4), 537-558.
- Botero, J., Ponce, A., & A. Shleifer (2013) Education, complaints, and accountability. *The Journal of Law and Economics*, 56(4), 959-996.
- Bustamante, C.V., Mingo, S., & S.F. Matusik (2021) Institutions and venture capital market creation: The case of an emerging market. *Journal of Business Research*, 127, 1-12.

- Caravella, S., & F. Crespi (2020) The role of public procurement as innovation lever: evidence from Italian manufacturing firms. *Economics of Innovation and New Technology*, 1-22.
- Castellacci, F., & K. Dizee (2019) Policy strategies for economic development in Cuba: A simulation model analysis. *Development Policy Review*, 37(6), 769-788.
- Choi, K., Narasimhan, R., & S.W. Kim (2016) Opening the technological innovation black box: The case of the electronics industry in Korea. *European Journal of Operational Research*, 250(1), 192-203.
- Christensen, J.L. (2010) The role of finance in national systems of innovation. In *National systems of innovation: Toward a theory of innovation and interactive learning* (pp. 151-172). Anthem Press.
- Cieślak, A., & Ł. Goczek (2018) Control of corruption, international investment, and economic growth—Evidence from panel data. *World Development*, 103, 323-335.
- Cohen, W. & D. Levinthal (1990) Absorptive Capacity: A New Perspective on Learning and Innovation. *Administrative Science Quarterly*, 35, 128–152.
- Compagnucci, L., & F. Spigarelli (2020) The Third Mission of the university: A systematic literature review on potentials and constraints. *Technological Forecasting and Social Change*, 161, 120284.
- Dangerfield, B. (2014) Systems thinking and system dynamics: A primer. *Discrete-event simulation and system dynamics for management decision making*, 26-51.
- Dimant, E., Krieger, T., & D. Meierrieks (2013) The effect of corruption on migration, 1985–2000. *Applied Economics Letters*, 20(13), 1270-1274.
- Edler, J., & J. Fagerberg (2017) Innovation policy: what, why, and how. *Oxford Review of Economic Policy*, 33(1), 2-23.
- Edquist, C. (2011) Design of innovation policy through diagnostic analysis: identification of systemic problems (or failures). *Industrial and corporate change*, 20(6), 1725-1753.
- Etzkowitz, H., & L. Leydesdorff (2000) The dynamics of innovation: from National Systems and “Mode 2” to a Triple Helix of university–industry–government relations. *Research policy*, 29(2), 109-123.

- Etzkowitz, H. & M. Ranga (2015) Triple Helix systems: an analytical framework for innovation policy and practice in the Knowledge Society. *In Entrepreneurship and Knowledge Exchange* (pp. 117-158). Routledge.
- Etzkowitz, H., Webster, A., Gebhardt, C., & B.R.C. Terra (2000) The future of the university and the university of the future: evolution of ivory tower to entrepreneurial paradigm. *Research Policy*, 29(2), 313-330.
- Freeman, C. (1987) *Technology, policy, and economic performance: lessons from Japan*. Pinter Pub Ltd.
- Galanakis, K. (2006) Innovation process. Make sense using systems thinking. *Technovation*, 26(11), 1222-1232.
- Grobbelaar, S.S., & A.J. Buys (2005) A conceptual systems dynamics model of research and development activities in South Africa. *South African Journal of Industrial Engineering*, 16(2), 103-121.
- Hughes, T.P. (1987) The evolution of large technological systems. *In The social construction of technological systems: New directions in the sociology and history of technology* (pp. 51-82). The MIT Press.
- Kergroach, S. (2019) National innovation policies for technology upgrading through GVCs: A cross-country comparison. *Technological Forecasting and Social Change*, 145, 258-272.
- Kondo, M. (1999) R&D dynamics of creating patents in the Japanese industry. *Research Policy*, 28(6), 587-600.
- Lan, J. (2008, October) A dynamic analysis of triple helix of industry-university-research institution: the case of China. *In 2008 4th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing* (pp. 1-6). IEEE.
- Lane, D.C. (2000) Diagramming conventions in system dynamics. *Journal of the Operational Research Society*, 51(2), 241-245.
- Lee, T.L. (2006) An alternative approach to technology policy assessment: dynamic simulation analysis of Taiwan's IC industry. *International Journal of Technology, Policy and Management*, 6(2), 121-153.
- Lee, T.L., & N. von Tunzelmann (2005) A dynamic analytic approach to national innovation systems: The IC industry in Taiwan. *Research Policy*, 34(4), 425-440.
- Leydesdorff, L. & H. Etzkowitz (1996) Emergence of a triple helix of university-industry-government relations. *Science and Public Policy*, 23(5), 279-286.

- Lundvall, B.Å. (1992) *National Systems of Innovation: Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning*. Pinter.
- Lundvall, B.Å. (2016) *The learning economy and the economics of hope*. Anthem Press.
- Malerba, F., Nelson, R., Orsenigo, L. & S. Winter (2008) Public policies and changing boundaries of firms in a “history-friendly” model of the co-evolution of the computer and semiconductor industries. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 67(2), 355- 380.
- Maruccia, Y., Solazzo, G., Del Vecchio, P., & G. Passiante (2020) Evidence from Network Analysis application to Innovation Systems and Quintuple Helix. *Technological Forecasting and Social Change*, 161, 120306.
- Mazzucato, M. (2016) From market fixing to market-creating: a new framework for innovation policy. *Industry and Innovation*, 23(2), 140-156.
- Muscio, A. (2007) The impact of absorptive capacity on SMEs' collaboration. *Economics of Innovation and New Technology*, 16(8), 653-668.
- Nelson, R.R. [Eds] (1993), *National innovation systems: a comparative analysis*. Oxford University Press on Demand.
- Ngoma, A.L., & N.W. Ismail (2013) The determinants of brain drain in developing countries. *International Journal of Social Economics*, 40(8), 744-754.
- Niosi, J. (2003) Alliances are not enough explaining rapid growth in biotechnology firms. *Research policy*, 32(5), 737-750.
- Olivares-Aguila, J., & W. ElMaraghy (2020) System dynamics modelling for supply chain disruptions. *International Journal of Production Research*, 1-19.
- Özak, Ö. (2018) Distance to the pre-industrial technological frontier and economic development. *Journal of Economic Growth*, 23(2), 175-221.
- Park, H.W. (2014) Transition from the triple helix to N-tuple helices? An interview with Elias G. Carayannis and David FJ Campbell. *Scientometrics*, 99(1), 203-207.
- Pereira, V., & Y. Temouri (2018) Impact of institutions on emerging European high-growth firms. *Management Decision*, 56(1), 175-187.
- Phillips, F., & H. Linstone (2016) Key ideas from a 25-year collaboration at technological forecasting & social change. *Technological Forecasting and Social Change*, 105, 158-166.
- Rad, M.F., Seyedesfahani, M.M., & M.R. Jalilvand (2015) An effective collaboration model between industry and university based on the theory of self organization:

- A system dynamics model. *Journal of Science & Technology Policy Management*, 6(1), 2-24.
- Ricciardi, F., De Bernardi, P., & V. Cantino (2020) System dynamics modeling as a circular process: The smart commons approach to impact management. *Technological Forecasting and Social Change*, 151, 119799.
- Richardson, G.P. (1995) Loop polarity, loop dominance, and the concept of dominant polarity (1984). *System dynamics review*, 11(1), 67-88.
- Richardson, G.P. (2011) Reflections on the foundations of system dynamics. *System Dynamics Review*, 27(3), 219-243.
- Rodríguez, J.C., & C.L. Navarro-Chávez (2015) A system dynamics model of science, technology and innovation policy to sustain regional innovation systems in emerging economies. *International Journal of Innovation and Regional Development*, 6(1), 7-30.
- Samara, E., Georgiadis, P., & I. Bakouros (2012) The impact of innovation policies on the performance of national innovation systems: A system dynamics analysis. *Technovation*, 32(11), 624-638.
- Sánchez-Barrioluengo, M. (2014) Articulating the 'three-missions' in Spanish universities. *Research Policy*, 43(10), 1760-1773.
- Stamboulis, Y.A. (2007) Towards a systems approach to innovation systems and policy. *International Journal of Technology and Globalisation*, 3(1), 42-55.
- Stamboulis, Y., Adamides, E., & T. Malakis (2002, July) Modeling the Product-Process R&D Dynamics. In *Proceedings of the 20th International Conference of the System Dynamics Society*.
- Sterman, J.D. (2000) *Business Dynamics. Systems Thinking and Modeling for a Complex World*, 1008p. Boston: Mc Graw Hill Higher Education.
- Tajoli, L., & G. Felice (2018) Global value chains participation and knowledge spillovers in developed and developing countries: An empirical investigation. *The European Journal of Development Research*, 30(3), 505-532.
- Teubal, M., Foray, D., Justman, M., & E. Zuscovitch [Eds] (2013) *Technological Infrastructure Policy: An International Perspective* (Vol. 7). Springer Science & Business Media.
- Tritah, A. (2008) The brain drain between knowledge-based economies: the European human capital outflow to the US. *Économie internationale*, (3), 65-107.

- Uriona, M., & S.S. Grobbelaar (2019) Innovation system policy analysis through system dynamics modelling: A systematic review. *Science and Public Policy*, 46(1), 28-44.
- Wonglimpiyarat, J. (2011) The dynamics of financial innovation system. *The Journal of High Technology Management Research*, 22(1), 36-46.
- Ye, C., Ye, Q., Shi, X., & Y. Sun (2020) Technology gap, global value chain and carbon intensity: evidence from global manufacturing industries. *Energy Policy*, 137, 111094.