

ABORDAREA CANTITATIVĂ A ECONOMIEI CIRCULARE ÎN ȚĂRILE OCDE

**Cristina Căuțișanu^{1*}, Laura Asandului², Mioara Borza³
și Ciprian Turturean⁴**

^{1), 2), 3), 4)} Universitatea Alexandru Ioan Cuza, Iași, România

| | |
|--|--|
| <p>Vă rugăm să citați acest articol astfel: Căuțișanu, C., Asandului, L., Borza, M. and Turturean, C., 2018. Quantitative Approach to Circular Economy in the OECD Countries. <i>Amfiteatru Economic</i>, 20(48), pp. 262-277.</p> <p>DOI: 10.24818/EA/2018/48/262</p> | <p>Istoricul articolului Primit: 30 decembrie 2017 Revizuit: 20 februarie 2018 Acceptat: 18 martie 2018</p> |
|--|--|

Rezumat

Economia circulară, un concept aflat în plină evoluție, este considerată o soluție necesară și pragmatică pentru reconcilierea legăturii dintre ritmul creșterii economice și presiunea asupra resurselor oferite de mediul înconjurător. În acest sens, scopul lucrării este evaluare cantitativă a economiei circulare din țările OCDE pe baza indicatorilor sintetizați de autori. Atingerea scopului propus s-a realizat printr-un obiectiv teoretic și unul empiric. Obiectivul teoretic îl reprezintă sinteza și gruparea indicatorilor cu referire la economia circulară, existenți în literatura de specialitate. Obiectivul empiric constă în realizarea unui model de analiză cauzală cu semnificație pentru practica economiei circulare, pe baza indicatorilor care măsoară creșterea economică, cercetarea-dezvoltarea, educația, reciclarea. Pentru realizarea obiectivului empiric s-au aplicat analiza cluster, analiza de corelație și analiza de cale. Elementele de contribuție constau în adaptarea indicatorilor economiei circulare pe cele cinci clase nou create și în aplicarea metodelor statistice menționate în analiza economiei circulare la nivelul țărilor OCDE. Rezultatele cercetării empirice reflectă, pe de o parte, clasificarea țărilor pentru un set de indicatori ai economiei circulare și, pe de altă parte, legăturile semnificative și dependențele dintre indicatorii analizați.

Cuvinte-cheie: economie circulară, țările OCDE, indicatori, analiza de cale, analiza cluster, analiza de corelație

Clasificare JEL: O13, O44, C38, Q53

* Autor de contact, **Cristina Căuțișanu** – cautisanucristina@yahoo.com

Introducere

Dezvoltarea economică și progresul social, ca deziderate permanente ce reflectă evoluția societății, au parcurs etape diferite de abordare teoretică și practică. Anii '90 au adus orientări concretizate în obiectivele și principiile dezvoltării durabile, pentru ca, în ultimii aproximativ 10 ani, sensul dezvoltării economice să se reorienteze către economia circulară. Aceasta presupune reconsiderarea dezvoltării economice și a progresului social din perspectiva unei atenții mult mai practice acordate simultan creșterii economice și factorilor de mediu. Implicit, o atenție sporită este îndreptată către resursele necesare asigurării continuității dezvoltării economice. În esență, percepem economia circulară drept legătură între creșterea economică și soluționarea problemelor de mediu. Conceptul de economie circulară este unul de mare noutate și actualitate atât în privința denumirii, cât și a aplicabilității.

Un aspect esențial în susținerea noii forme a economiei - economia circulară, este cel referitor la modul de gestiune a deșeurilor. Cantități tot mai mare de deșeuri sunt consecințe directe ale unui consum care depășește nevoile reale și, în același timp, alterează starea mediului înconjurător ca principal furnizor de resurse. Astfel, managementul resurselor naturale se află în dependență strânsă și directă cu managementul deșeurilor.

Mai mult, este foarte important de subliniat că educația și formarea deprinderilor acordate cerințelor de urmare a acestor procese circulare, reprezintă un pilon de bază care permite trecerea de la teorie la aspectele practice, de implementare a economiei circulare.

Scopul economiei circulare este să asigure decuplarea utilizării resurselor de creșterea PIB, simultan cu limitarea impactului negativ asupra mediului.

Reconsiderarea creșterii și dezvoltării economice din perspectiva economiei circulare, se produce în trei zone de interes major, și anume:

- impact economic (creșterea PIB, rata de angajare, investițiile etc.);
- impact asupra mediului (utilizarea resurselor, reducerea emisiilor nocive, scăderea nivelului de poluare);
- impact social (schimbări demografice, calitatea vieții, educație, oportunități și/sau inechități sociale etc.).

În acest context, prin lucrarea de față se urmărește evidențierea legăturilor cauzale și a interdependențelor dintre direcțiile dezvoltării economice, sociale și de mediu. Analiza cantitativă permite construirea unui model asociat conceptului de economie circulară. Pentru evaluarea cantitativă a acesteia, au fost considerați indicatori care măsoară dezvoltarea economică, eficiența utilizării resurselor, mediul înconjurător, managementul deșeurilor și resursele umane.

Plecând de la faptul că nu există un consens în ceea ce privește indicatorii economiei circulare, un element de noutate a cercetării îl constituie realizarea reconfigurării claselor de indicatori în 5 arii principale de referință ale economiei circulare, precum și adaptarea indicatorilor în clasele nou create. Alt element de noutate îl reprezintă analiza cantitativă a economiei circulare pentru țările OCDE, pe baza următorilor indicatori: produsul intern brut pe locuitor, cheltuielile pentru cercetare și dezvoltare, numărul mediu de ani de școlarizare, energia regenerabilă, deșeurile municipale și rata de reciclare a deșeurilor municipale.

Pentru a realiza o clasificare a țărilor OCDE în funcție de indicatorii selectați, s-a utilizat analiza cluster. Legăturile semnificative între indicatorii economiei circulare considerați în cercetare, s-au identificat cu ajutorul analizei de corelație. Analiza de cale s-a aplicat pentru a descrie și identifica efectele unui set de variabile asupra unei variabile

rezultat. Analizele statistice au fost realizate cu ajutorul programului SPSS și al pachetului SPSS Amos (IBM, 2011).

Lucrarea cuprinde, în continuare, studiul literaturii de specialitate privind economia circulară, secțiune în care autorii au sintetizat atât aspecte teoretice, referitoare la concept, beneficii și indicatori ai economiei circulare, cât și aspecte practice, în legătură cu evaluarea economiei circulare. Secțiunea următoare cuprinde metodologia cercetării cu prezentarea indicatorilor folosiți în analiză, ipotezele de cercetare și a metodelor statistice utilizate. În această secțiune este prezentată gruparea indicatorilor în 5 clase după domeniile comune atât economiei circulare, cât și dezvoltării durabile. Rezultatele analizelor cantitative realizate și interpretările acestora se regăsesc în următoarea secțiune. În final, concluziile cuprind sinteza studiului, limitele și direcții viitoare de cercetare.

1. Recenzia literaturii științifice

Sfârșitul secolului XX a reprezentat perioada de recunoaștere a problemelor de mediu care se reflectau în creșterea și dezvoltarea economică. În această perioadă, s-au pus bazele reconsiderării resurselor naturale din punctul de vedere al riscului de epuizare a lor. Astfel, în cadrul Clubului de la Roma, prin Raportul "Limits of Growth" (Meadows, ș.a., 1972) s-au pus bazele modelelor de economie circulară și s-au tras semnale de alarmă cu privire la modul de gestiune a resurselor furnizate de mediul înconjurător. Economia circulară este definită în ideea salvării resurselor - pentru a evita epuizarea acestora - și a reciclării deșeurilor - pentru a evita incapacitatea de a le putea gestiona (De Perthuis, 2014).

Noțiunea de economie circulară apare ca fiind utilizată prima dată într-un model economic, de către Pearce & Turner (1990) care constată că modelului economic tradițional sau liniar îi lipsește ideea de reciclare, ceea ce aduce prejudicii funcționalității relației mediu-economie.

Una din cele mai cunoscute definiții este cea formulată în cadrul Fundației Ellen MacArthur: "un sistem industrial care este restaurativ sau regenerativ prin intenție și design" (2013a, p.7). Orientarea principală a economiei circulare este spre reducerea consumului de resurse, a poluării și a deșeurilor în fiecare etapă a ciclului de viață a produselor (Sauvé, Bernard and Sloan, 2016). Alți autori au identificat opinii relevante pentru modul de gestiune a deșeurilor din perspectiva abordării economiei circulare. Mai mult, se consideră că beneficiile reciclării nu pot fi cuantificate în mod eficient prin economia tradițională de tip *laissez-faire* (Åkerman, 2016) și se sprijină intervențiile în sensul gestiunii în scop productiv a deșeurilor. După Tejasri (2015), important pentru acțiunile concrete de reciclare este conceptul de „inginerie verde” (*green engineering*), ca proces și design al produselor care conservă resursele naturale și reduc impactul asupra mediului, concept asociat cu ideea de "a doua viață a deșeurilor".

Potrivit lui Steffen, ș.a. (2015), economia circulară reprezintă alternativa fundamentală modelului economic liniar. Autorii subliniază faptul că modelul liniar nu este durabil deoarece se bazează pe premisa că resursele naturale sunt disponibile fără restricții și sunt ușor de accesat.

Reciclarea deșeurilor reprezintă unul dintre principalele aspecte ale economiei circulare și presupune reintroducerea materialelor în economie și evitarea trimerii deșeurilor către depozitele de deșeurii sau incinerarea acestora. Cu alte cuvinte, reciclarea deșeurilor valorifică materialele cât mai mult posibil și reduce pierderile.

Tranziția unei țări de la economia liniară la economia circulară presupune costuri ridicate de restructurare, urmate de pierderi, dar creează beneficii în patru domenii: utilizarea resurselor, mediul, economia și societatea.

În ceea ce privește beneficiile economiei circulare asupra utilizării resurselor, Nilsson, ș.a. (2007) au scris despre importanța conceptului de producție ecologică. Aceasta implică aspecte precum: utilizarea corectă a resurselor și înlocuirea resurselor care au o durată scurtă de viață sau sunt periculoase.

Într-un studiu realizat la nivelul Statelor Unite ale Americii, Esposito, ș.a. (2015) prezintă principalele beneficii pe care le poate aduce economia circulară. Unul dintre beneficii ar fi acela de a avea o creștere economică bazată pe valorificarea materialelor deja existente în sistem și pe utilizarea mai scăzută a resurselor naturale. Pentru a avea o creștere economică bazată pe principiile economiei circulare, este nevoie de realizarea unor investiții pentru crearea și dezvoltarea unor noi tehnologii care să asigure colectarea și managementul eficient al deșeurilor.

Gallagher, ș.a., (2017) indică un alt beneficiu al economiei circulare: utilizarea eficientă a resurselor naturale pentru crearea energiei regenerabile. Astfel, autorii studiului au evidențiat importanța tehnologiilor care colectează energia solară, energia apei și a vântului pentru a crea energie electrică cu un cost minim și un nivel foarte scăzut de poluare a mediului. Principalele rezultate ale studiului realizat de Gallagher, ș.a. au arătat că utilizarea tehnologiilor din domeniul resurselor regenerabile într-o perioadă de 100 de ani determină scăderi semnificative ale emisiilor de gaze cu efect de seră și ale cantității de resurse naturale epuizate.

Conform unui raport realizat de ThreeC (2016), pentru a beneficia pe deplin de avantajele economiei circulare comparativ cu cele ale economiei liniare, este nevoie ca educația să aibă prioritate. Educația poate accelera tranziția spre o economie circulară întrucât are rolul de a schimba modul de gândire în rândul indivizilor și, implicit, al societății. Astfel, viziunea spre o economie a viitorului în care primează principiile 7R și utilizarea eficientă a resurselor naturale poate deveni realitate în condițiile în care va exista o schimbare a modului de gândire cu privire la relațiile dintre economie și societate, pe de o parte, și mediu, pe de altă parte.

Literatura asiatică prezintă preocupări empirice privind măsurarea economiei circulare, studii de caz și analize complexe ale acesteia (Geng, ș.a., 2012; 2013). Fiind asumat faptul că miracolul economic al Chinei a fost realizat în detrimentul capitalului său natural, economia circulară s-a constituit în politică națională a dezvoltării durabile (Geng, ș.a., 2012).

Studiul realizat de Banaité (2016) a evidențiat faptul că în China, măsurarea impactului implementării economiei circulare se realizează la nivel micro, mezo și macroeconomic. Autorul indică faptul că economia circulară a apărut ca o soluție pentru problemele cu care se confruntă economia liniară: producția limitată de accesul din ce în ce mai scăzut la resursele naturale, un nivel crescut de poluare și o rată crescută a consumului de energie. Totodată, aplicarea principiilor 7R ale economiei circulare poate sta la baza unei dezvoltări durabile. Principalele rezultate ale studiului realizat de Banaité au arătat că majoritatea indicatorilor utilizați în evaluarea economiei circulare au avut ca scop reducerea utilizării resurselor naturale și reciclarea deșeurilor iar componentele dezvoltării durabile luate în considerare au fost cea economică și cea de mediu. Dintre indicatorii analizați se numără: cantitatea de deșeuri rezultată în urma proceselor de producție din sectorul industrial, gradul de poluare rezultat din activitățile de producție, beneficiile economice ale sectorului industrial și PIB/locuitor.

2. Metodologia cercetării

În literatura de specialitate, se regăsesc preocupări preponderent teoretice privind economia circulară și beneficiile acesteia. Având în vedere faptul că este un concept relativ nou, interesul pentru măsurarea economiei circulare prin indicatori specifici, la nivel macroeconomic, precum și pentru analiza cantitativă a economiei circulare este prea puțin reflectat în articole științifice. Prin urmare, autorii și-au propus, mai întâi, să realizeze o sistematizare a indicatorilor prin care se poate măsura economia circulară, obiectiv atins prin selectarea indicatorilor care să măsoare economia circulară și reordonarea și adaptarea acestora în 5 clase. În etapa de selectare a indicatorilor folosiți în modelul din prezenta cercetare, s-au luat în considerare următoarele două aspecte esențiale:

- indicatorii care sugerează conținutul conceptului de economie circulară sunt indicatorii dezvoltării durabile, dat fiind că atât economia circulară, cât și dezvoltarea durabilă urmăresc atingerea simultană a trei categorii de obiective: economice, sociale și de mediu, respectiv se axează pe atenția majoră acordată gestionării resurselor, dar și a deșeurilor;

- indicatorii care pot caracteriza funcționalitatea economiei circulare se bazează pe șase principii de bază care ar trebui cunoscute și respectate (Circle Economy, 2015a): *infinitatea circuitului materiei și a materialelor, utilizarea energiei regenerabile, susținerea serviciilor ecosistemice și a capitalului natural, susținerea sănătății și activității umane, susținerea societății și a culturii, generarea de plus valoare sub orice formă a sa, nu numai financiară.*

Până în prezent nu există un set de indicatori consacrați economiei circulare care să fie funcționali și care să servească la validarea modelului economiei circulare. Atât din cauza lipsei unor indicatori care să caracterizeze gradul de dezvoltare a economiei circulare, cât și datorită relației de subordonare în care se află conceptele de economie circulară față de economia durabilă, dintre indicatorii dezvoltării durabile s-au ales câteva categorii de indicatori care să ne permită caracterizarea nivelului de dezvoltare a economiei circulare în țările OCDE. Astfel, UNEP a elaborat 10 indicatori pentru dezvoltarea durabilă, iar UNDP 17 indicatori pentru aceeași temă; World Bank a elaborat peste 50 de indicatori specifici mediului și dezvoltării durabile; OCDE a elaborat 25-30 de indicatori pentru măsurarea creșterii verzi; EUROSTAT a elaborat 32 de indicatori pentru a măsura eficiența utilizării resurselor.

Dat fiind că și sursele de informare din literatură sunt foarte variate și uneori contradictorii, am realizat o grupare a indicatorilor utilizabili în modelul de analiză, așa încât să ajungem la scopul propus: identificarea factorilor de influență a funcționalității economiei circulare, punctați pe cele trei direcții ale dezvoltării - economică, socială și ecologică. Procesele vizate sunt: colectarea deșeurilor municipale, reciclarea, investiția în cercetare-dezvoltare și în noi tehnologii, inovare și creativitate, educație.

Punctul principal de referință în realizarea selecției indicatorilor de analiză, dat fiind numărul foarte mare al acestora, este identificarea celor cinci domenii comune pe care le surprinde atât problematica economiei circulare, cât și cea a dezvoltării durabile: productivitatea resurselor, aspectele mediului înconjurător, oportunități economice, aspecte sociale, managementul deșeurilor (Åkerman, 2016; p. 23). În esență, am dezvoltat propriul sistem de indicatori de referință pentru economia circulară, ceea ce arată atingerea obiectivului teoretic, constituindu-se, totodată, ca și valoare adăugată la literatura de specialitate (tabel nr.1).

Tabel nr. 1 Indicatori de referință pentru economia circulară

| Clase de indicatori | Subclase ale indicatorilor | Indicatori |
|--|--|---|
| Eficiența utilizării resurselor | <i>Consumul energetic Consumul de resurse Eficiența ecologică Amprenta ecologică Modele de consum Agricultura ecologică Utilizarea terenurilor</i> | <ul style="list-style-type: none"> - Consumul de resurse naturale - Consumul de masă lemnoasă - Consumul de energie - Utilizarea energiei regenerabile - Ponderea energiei regenerabile, pe surse - Consumul material intern, pe tipuri de material - Ponderea suprafețelor ocupate de ferme care practică agricultura ecologică, în total suprafețe agricole utilizate - Consumul de energie pe tipuri de transport - Investiții în infrastructura de transport pe tipuri - Consumul anual de energie/locuitor - Ponderea consumului acoperit din surse de energie regenerabilă |
| Mediul și factorii componenți | <i>Schimbările climatice Biodiversitatea Serviciile ecosistemice</i> | <ul style="list-style-type: none"> - Suprafața artificială - Consumul de apă - Capitalul natural - Gradul de emisie de CO₂ - Ponderea pădurilor afectate de despădurire - Ponderea suprafeței totale supusă riscului de eroziune a solului |
| Dezvoltarea economică | <i>Investiții Competitivitate Profitabilitate Rentabilitate Valoare economică Diversitatea pieței</i> | <ul style="list-style-type: none"> - PIB/locuitor - Rata de creștere a PIB - Rata inflației - Venitul național net (% din PIB) - Cheltuielile totale cu activitatea de cercetare dezvoltare (% din PIB) - Cheltuielile publice cu educația (% din PIB) |
| Populația | <i>Acces la piața muncii Sărăcie Comportament de consum Protecția sănătății umane Siguranța alimentară Societatea și cultura Educația</i> | <ul style="list-style-type: none"> - Gradul de acoperire cu servicii de salubritate - Indicatori cu referire la sănătatea umană - Rata șomajului - Rata sărăciei - Speranță de viață sănătoasă, pe sexe - Cheltuieli cu sănătatea (% din PIB) - Numărul și mărimea gospodăriilor populației - Media anilor de școală |
| Managementul deșeurilor | <i>Reciclarea 3R 7R</i> | <ul style="list-style-type: none"> - Cantitatea de deșeuri colectată/locuitor - Generarea deșeurilor periculoase, pe activități economice - Populația conectată la sistemul de tratare a apelor reziduale - Deșeuri solide provenite din consum industrial și casnic - Managementul deșeurilor radioactive - Reciclarea și re folosirea deșeurilor |

Sursa: sinteză a autorilor și adaptare după indicatori ai dezvoltării durabile și propuneri de indicatori ai economiei circulare (apud. Åkerman, 2016)

Dintre indicatorii grupați în prima parte a lucrării, în continuare, pentru analiza cantitativă a economiei circulare a țărilor OCDE, în anul 2015, s-au selectat 6 indicatori incluși în 4 din cele 5 clase create. Astfel, creșterea economică a țărilor OCDE a fost cuantificată prin intermediul indicatorului PIB/locuitor (dolari SUA/locuitor). Totodată, pentru a cuantifica nivelul de investiții pentru dezvoltarea de noi tehnologii, am utilizat ca indicator cheltuielile cu cercetarea și dezvoltarea (% PIB). În ceea ce privește utilizarea resurselor regenerabile la nivelul fiecărei țări incluse în studiu, am folosit ca indicator, procentul de energie regenerabilă din rezerva de energie primară a fiecărei țări. Pentru a măsura cantitatea de deșeuri colectate și reciclate de fiecare dintre țările OCDE, am considerat următorii indicatori: deșeuri municipale (kilograme/persoană), rata de reciclare a deșeurilor municipale (% deșeuri municipale). În final, ca indicator al nivelului de educație din fiecare dintre țările incluse în studiu, am utilizat media anilor de școală. Întrucât indicatorii din clasa referitoare la mediu și factorii componenți nu au fost actualizați, aceștia nu au putut fi considerați în analiză.

În lucrare s-au utilizat următoarele notații ale indicatorilor: GDP_CAP (PIB/locuitor), R&D_GDP (Cheltuieli cu cercetarea și dezvoltarea), RENEW_ENERGY (energie regenerabilă), MUNICIPAL_WASTE (deșeuri municipale), RECYCLING_M (rata de reciclare a deșeurilor municipale) și SCH_MEAN (media anilor de școală). Sursele de date pentru acești indicatori sunt Eurostat (Eurostat, 2017) și Banca Mondială (World Bank, 2017).

Analiza cantitativă a economiei circulare a țărilor OCDE s-a realizat pe două direcții. Pe de o parte, analiza exploratorie se regăsește în analiza cluster, prin care s-au grupat țările OCDE în clase omogene după fiecare dintre indicatorii selectați. Pe de altă parte, în vederea identificării legăturilor semnificative dintre indicatorii considerați, s-au aplicat analiza de corelație și analiza de cale.

Analiza cluster implică gruparea unor cazuri similare, prin organizarea acestora în funcție de unul sau mai mulți indicatori. În lucrare, s-a folosit clasificarea ierarhică prin care s-a obținut un număr optim de cluster pentru fiecare dintre indicatorii utilizați în analiză. Asemănarea dintre țările din același cluster a fost măsurată prin distanța euclidiană, iar algoritmul folosit a fost *average linkage between groups*, ca tehnică a clasificării ierarhice.

Cu ajutorul analizei de corelație, s-au testat o serie de ipoteze privind legăturile semnificative dintre indicatorii economiei circulare în cazul țărilor OCDE. Aceste ipoteze sunt:

- există o legătură semnificativă între creșterea economică și fiecare dintre următorii indicatori: investițiile în cercetare și dezvoltare, educația populației, cantitatea de deșeuri și nivelul de reciclare
- există o legătură semnificativă între investiții cu cercetarea și dezvoltarea și fiecare dintre următorii indicatori: educația populației, cantitatea de deșeuri și nivelul de reciclare.
- există o legătură semnificativă între nivelul de educație a populației și fiecare dintre următorii indicatori: cantitatea de deșeuri și nivelul de reciclare.

Însă, acest tip de analiză nu oferă și informații referitoare la natura legăturii dintre indicatori. Aceasta poate fi descompusă în mai multe tipuri de efecte: efect direct al unei variabile asupra celeilalte, efect indirect al unei variabile asupra celeilalte prin intermediul unei variabile mediatore, efect comun (o variabilă este într-o relație de cauzalitate cu mai multe variabile simultan), efect corelat (o variabilă este într-o relație de cauzalitate cu una sau mai multe variabile simultan dar este și corelată cu alte variabile) și efect reciproc (2 variabile se cauzează reciproc) (Williams, 2015). Analiza de cale are rolul de a indica tipul

legăturii dintre 2 variabile atât prin reprezentare grafică, cât și prin estimarea unor coeficienți de cale.

Analiza de cale a fost folosită pentru a estima intensitatea legăturilor cauzale dintre seturi de indicatori. Această analiză presupune existența a priori a unei scheme a legăturilor dintre indicatori. Astfel, pornind de la literatura de specialitate au fost conturate un set de ipoteze pe baza cărora s-a construit o diagramă de cale. În urma conceptualizării structurii cauzale pentru indicatorii considerați în analiză, ipotezele sunt: PIB/locuitor și media anilor de școală au un efect direct asupra cheltuielilor pentru cercetare-dezvoltare; între media anilor de școală și cheltuielile pentru cercetare-dezvoltare există un efect direct reciproc; cheltuielile pentru cercetare-dezvoltare au un efect indirect asupra ratei de reciclare a deșeurilor municipale, efect mediat de media anilor de școală.

Analiza de cale este o analiză de regresie multiplă extinsă care se bazează pe un sistem de relații între variabile, reprezentate prin ecuații de regresie, de forma:

$$Y = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_j x_j + e \quad (1)$$

unde: β_j reprezintă valorile coeficienților de cale,

Y variabila endogenă,

x_j sunt variabilele exogene,

e reprezintă influența variabilelor neincluse în model asupra variabilei Y .

Variabilele folosite în analiza de cale sunt fie *exogene* (cu varianța care nu depinde de nicio variabilă din model), fie *endogene* (cu varianța determinată de alte variabile din model). În modelul din prezenta lucrare, variabila *exogenă* este PIB/locuitor, iar variabilele *endogene* sunt: energia regenerabilă, cheltuieli pentru cercetare-dezvoltare, deșeurii municipale, rata de reciclare a deșeurilor municipale și media anilor de școală.

Prin intermediul analizei de cale se specifică efectele dintre variabilele observate din modelul teoretic pe baza căruia se realizează diagrama de cale (Shuemacker, ș.a., 2016). Această analiză conține mai multe tipuri de efecte: efecte directe, efecte indirecte și efecte totale. Efectul direct indică o legătură directă dintre 2 variabile. Acest tip de efecte se cuantifică prin intermediul coeficienților de cale și pot fi semnificative pentru un anumit prag de semnificație stabilit de cercetător (Alwin și Hauser, 1975). Efectul indirect presupune existența unei variabile mediatore prin intermediul căreia are loc legătura dintre 2 variabile. Astfel, o variabilă are un efect direct asupra variabilei mediatore iar aceasta are un efect direct asupra altei variabile. Efectul total se referă la suma tuturor efectelor directe și indirecte dintre 2 variabile (Finney, 1972).

3. Rezultate și discuții

Prezentarea rezultatelor analizelor efectuate s-a făcut în două etape. Mai întâi, este prezentată clasificarea ierarhică a țărilor OCDE în funcție de indicatorii considerați în cercetare. Apoi, sunt analizate legăturile semnificative și dependențele dintre indicatorii economiei circulare, pentru țările OCDE.

În urma grupării țărilor OCDE după capacitatea de a crea energie regenerabilă s-au obținut 3 cluster. Țările din clusterul 1 creează energie regenerabilă într-un procent de până la 25% din rezerva proprie de energie primară în timp ce, țările din clusterul 2 produc energie regenerabilă într-un procent cuprins între 25 și 46% din rezerva acestora de energie primară. Islanda prezintă o situație extremă în comparație cu restul țărilor OCDE, aceasta producând energie regenerabilă în proporție de peste 88% din rezerva sa de energie primară.

În funcție de PIB/locuitor, țările OCDE s-au grupat în 4 cluster. Primul cluster cuprinde țări din Europa, Asia și America, cu un nivel mediu al PIB/locuitor de 42.161 \$. Al doilea cluster este caracterizat de un nivel mediu scăzut al PIB/locuitor (25.878 \$) și este format din țări care au o situație economică mai puțin bună (ex. Grecia, Portugalia etc.). Cel de-al treilea cluster cuprinde țări cu un nivel mediu ridicat al PIB/locuitor (62.974 \$), majoritatea făcând parte din NV Europei. Al patrulea cluster este reprezentat de Luxemburg, cu o valoare a PIB/locuitor mult mai mare decât în cazul celorlalte țări (103.770 \$).

Analiza cluster aplicată pentru cheltuielile pentru cercetare-dezvoltare arată că țările OCDE sunt grupate în 5 clase. Primul cluster este format din țările care investesc un procent scăzut din PIB (1,3%) pentru cercetare și dezvoltare. O mare parte din țările componente ale acestui cluster sunt localizate în Europa Centrală și de Sud-Est. Clusterul al doilea este compus din țările care investesc, în medie, cel mai mic procent din PIB pentru cercetare și dezvoltare, iar al treilea cluster este format din țările în care investițiile în cercetare și dezvoltare sunt mai mari decât în cazul țărilor din clusterelor 1 și 2 (2,13%). Cele mai multe țări din clusterul 3 sunt din zona de Vest a Europei. Clusterul 4 este format, în mare parte, de țări din zona de Nord a Europei și alocă un procent din PIB cuprins între 2,5 și 3,5% pentru cercetare și dezvoltare. În clusterul 5 sunt incluse două țări: Coreea și Israel. Acestea investesc peste 4,2% din PIB pentru cercetare și dezvoltare.

Gruparea țărilor OCDE privind educația a relevat că, în primul cluster sunt incluse țările în care numărul mediu de ani de școală este cuprins între 11,9 și 13,4 ani. Țările din clusterul 1 fac parte, în principal, din Europa Centrală și de Nord și din America. Clusterul 2 este format din țări cu un nivel mediu de ani de școală cuprins 9,8 și 11,7 ani. Mare parte dintre aceste țări sunt situate în partea de Vest și Sud a Europei. Țările care au cel mai mic număr mediu de ani de școală sunt incluse în clusterul 3. Astfel, Turcia, Mexic și Portugalia prezintă un număr mediu de ani de școală mai mic de 9 ani.

În urma grupării țărilor după indicatorul deșeurilor municipale, au rezultat 4 cluster. Primul cluster cuprinde țările care produc, în medie, 452 kg /locuitor de deșeurii, țări situate în zona de Vest și Sud-Vest a Europei. Clusterul 2 este format din țările care produc cele mai scăzute cantități de deșeurii pe locuitor, cantitatea medie fiind de 337 kg /locuitor. La polul opus se află țările din clusterelor 3 și 4 care produc, în medie, 595 kg /locuitor respectiv, 744 kg/locuitor de deșeurii. Țările care produc cea mai mare cantitate de deșeurii sunt: Noua Zeelandă, Statele Unite ale Americii, Elveția și Danemarca.

Analiza cluster aplicată pentru reciclarea deșeurilor municipale a dus la obținerea unei soluții optime de 3 cluster. Primul cluster cuprinde țările cu cea mai mare rată medie de reciclare a deșeurilor municipale (49%). Din primul cluster fac parte Australia, Slovenia, Germania și Coreea. La polul opus se află țările din clusterul 2 (Turcia, Mexic și Republica Slovacă), în care s-a înregistrat cea mai mică rată medie de reciclare a deșeurilor municipale (4,2%). Clusterul 3 este format din țări cu o rată medie de reciclare a deșeurilor municipale de 25,25%.

În etapa a doua a cercetării empirice, s-a urmărit identificarea legăturilor cauzale semnificative între indicatorii economiei circulare a țărilor OCDE, prin aplicarea analizei de corelație și a analizei de cale.

Pe baza rezultatelor analizei de corelație (tabel nr. 2), s-au identificat o serie de corelații semnificative. Astfel, există o legătură semnificativă directă ($\text{Sig} < 0,01$) între PIB-ul/locuitor și indicatorul deșeurii municipale, la un nivel de încredere de 99 % ($\text{Sig} < 0,01$). Totodată, s-a identificat și o corelație semnificativă pentru un risc de 5% ($\text{Sig} < 0,05$) între PIB/locuitor și rata de reciclare a deșeurilor. Într-o economie bazată pe supraconsum, cu cât

PIB-ul este mai mare, rezultă și un consum mai sporit care, la rândul său, generează o cantitate mai mare a deșeurilor rezultate din consum. Prin susținerea utilizării deșeurilor ca noi resurse incluse în procesul de producție, un nivel ridicat al consumului nu va mai reprezenta o amenințare pentru resurse și mediul înconjurător.

Tabel nr. 2. Rezultatele analizei de corelație

| | | RENEW_ ENERGY | GDP_ CAP | R&D_ GDP | SCH_ MEAN | MUNICIP_ WASTE | RECYCLI NG_M |
|----------------|---------------------------------|---------------|----------|----------|-----------|----------------|--------------|
| RENEW_ ENERGY | Coeficient de corelație Pearson | 1 | 0,223 | -0,006 | 0,046 | 0,241 | 0,031 |
| | Sig | | 0,197 | 0,976 | 0,792 | 0,163 | 0,861 |
| GDP_ CAP | Coeficient de corelație Pearson | 0,223 | 1 | 0,515 | 0,583 | 0,618 | 0,364 |
| | Sig | 0,197 | | 0,002 | 0,000 | 0,000 | 0,032 |
| R&D_ GDP | Coeficient de corelație Pearson | -0,006 | 0,515 | 1 | 0,524 | 0,367 | 0,470 |
| | Sig | 0,976 | 0,002 | | 0,001 | 0,030 | 0,004 |
| SCH_ MEAN | Coeficient de corelație Pearson | 0,046 | 0,583 | 0,524 | 1 | 0,387 | 0,539 |
| | Sig | 0,792 | 0,000 | 0,001 | | 0,022 | 0,001 |
| MUNICIP_ WASTE | Coeficient de corelație Pearson | 0,241 | 0,618 | 0,367 | 0,387 | 1 | 0,192 |
| | Sig | 0,163 | 0,000 | 0,030 | 0,022 | | 0,269 |
| RECYCLI NG_M | Coeficient de corelație Pearson | 0,031 | 0,364 | 0,470 | 0,539 | 0,192 | 1 |
| | Sig | 0,861 | 0,032 | 0,004 | 0,001 | 0,269 | |

Sursa: prelucrări ale autorilor

Cheltuielile cu cercetarea și dezvoltarea sunt corelate semnificativ cu PIB/locuitor considerând un risc de 1% (Sig < 0,01). În ceea ce privește aderarea la modelul economiei circulare, cu cât este mai mare rata investițiilor în cercetare-dezvoltare, cu atât sunt mai eficiente, productive și profitabile managementul resurselor și prelucrarea deșeurilor. Totodată, cheltuielile pentru cercetare-dezvoltare sunt semnificativ direct corelate atât cu indicatorul deșeurilor municipale (Sig < 0,05), cât și cu rata de reciclare a deșeurilor municipale (Sig < 0,01). Corelația cu indicatorul deșeurilor municipale indică faptul că un procent considerabil din PIB alocat cercetării-dezvoltării este o soluție pertinentă ce permite utilizarea adecvată a deșeurilor ca resurse, respectiv permite considerarea pragmatică a conceptului 7R. În acest fel, inovarea devine prioritară și produce efecte socio-economice multiplicatoare. De asemenea, o alocare semnificativă din PIB pentru cercetare-dezvoltare permite stimularea inovării, a accesului la tehnologii creative și/sau ecologice, respectiv creșterea ratei de reciclare a deșeurilor municipale.

Nivelul educației, măsurat prin numărul mediu de ani de școală, este unul din cei mai importanți indicatori în analiza economiei circulare, aspect semnalizat prin corelații directe semnificative atât cu indicatori cu referire la dezvoltarea economică (PIB/locuitor și cheltuieli cu cercetarea-dezvoltarea (Sig < 0,01)), cât și cu indicatori ce caracterizează economia circulară: reciclarea (Sig < 0,05) și gestiunea deșeurilor (Sig < 0,01). Dat fiind că reciclarea eficientă presupune utilizarea unor tehnologii performante și avansate, indicatorul cheltuieli cu cercetarea-dezvoltarea (% din PIB) este semnificativ în legăturile indicate de analiză. Ca numitor comun, nivelul educației este indicatorul din grupa aspectelor sociale care creează o legătură strânsă și directă cu aspectele economice și de mediu. Astfel, nivelul educației este influențat și susținut de PIB-ul/locuitor, însă relația se dovedește și reciprocă. Un nivel de educație sporit determină progres în direcția cercetării-

dezvoltării, domeniu susținut de rata alocării din PIB. Un nivel tehnologic avansat determină utilizarea tehnologiilor moderne și eficiente de colectare și reciclare a deșeurilor municipale însă, la rândul lor, aceste acțiuni sunt direct influențate de nivelul educației.

În continuare, cu scopul de a studia determinările dintre indicatorii economiei circulare a țărilor OCDE, în termeni de variabile exogene și endogene, s-a folosit analiza de cale. Economia circulară presupune gestionarea deșeurilor astfel că am evidențiat traseul și legăturile dintre aspectele economice, de educație și cele de mediu, pentru țările OCDE în 2015. Modelul din figura nr. 1 relevă transformarea economiei liniare în economie circulară.

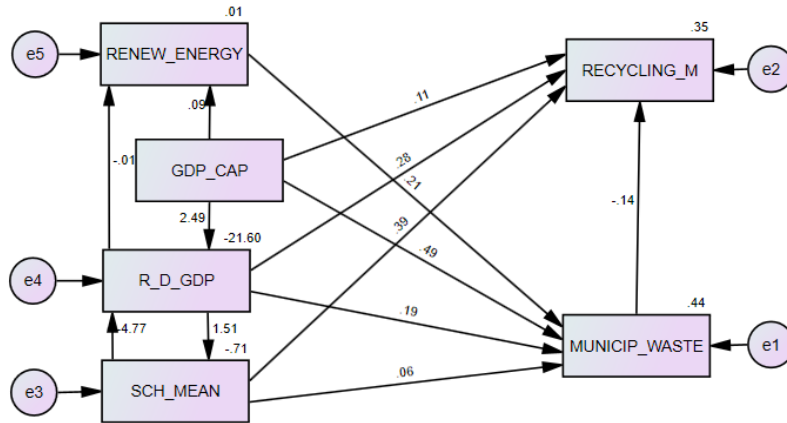


Figura nr. 1 Diagrama de cale

Examinând diagrama, putem spune că vârsta medie de școlarizare, Cheltuielile cu cercetarea și dezvoltarea, PIB/locuitor și energia regenerabilă influențează atât deșeurile municipale, cât și reciclarea deșeurilor municipale (figura nr. 1).

Astfel, am obținut estimările pentru toate relațiile în modelele de măsurare (coeficienții de cale folosind analiza de regresie). Coeficienții de cale sunt prezentați în tabelul nr. 3.

Tabel nr. 3. Coeficienții de cale standardizați

| Predictor | Predictand | Estimație | Sig |
|-----------------|-----------------|-----------|-------|
| GDP_CAP | R&D_GDP | 2,487 | 0,000 |
| R&D_GDP | RENEW_ENERGY | -,008 | 0,808 |
| GDP_CAP | RENEW_ENERGY | 0,095 | 0,758 |
| RENEW_ENERGY | MUNICIPAL_WASTE | 0,209 | 0,118 |
| SCH_MEAN | MUNICIPAL_WASTE | 0,061 | 0,444 |
| R&D_GDP | MUNICIPAL_WASTE | 0,186 | 0,282 |
| GDP_CAP | MUNICIPAL_WASTE | 0,488 | 0,018 |
| R&D_GDP | RECYCLING_M | 0,281 | 0,405 |
| SCH_MEAN | RECYCLING_M | 0,393 | 0,048 |
| GDP_CAP | RECYCLING_M | 0,115 | 0,462 |
| MUNICIPAL_WASTE | RECYCLING_M | -0,139 | 0,368 |
| SCH_MEAN | R&D_GDP | -4,774 | 0,000 |
| R&D_GDP | SCH_MEAN | 1,514 | 0,000 |

Sursa: prelucrări ale autorilor

În tabelul nr. 3, pentru fiecare model de regresie sunt prezentate valorile standardizate ale coeficienților de cale (*estimates of coefficients path*) și valorile probabilităților (*Sig*) asociate testării semnificației parametrilor modelelor ($H_0: \beta_j=0$; $H_1: \beta_j \neq 0$). Pentru un nivel de semnificație de 5%, se pot observa următoarele dependențe: investițiile pentru cercetare-dezvoltare și nivelul educației se află într-o relație de dependență reciprocă, creșterea economică influențează semnificativ investițiile pentru cercetare-dezvoltare și cantitatea de deșeuri iar nivelul de reciclare depinde de nivelul de educație al populației.

Pe baza valorilor coeficienților semnificativi din tabelul nr. 1 se pot scrie ecuațiile:

$$R\&D_GDP=2,515*GDP_CAP-4,824*SCH_MEAN \quad (2)$$

$$SCH_MEAN=1,516*R\&D_GDP \quad (3)$$

$$MUNICIPAL_WASTE=0,488*GDP_CAP \quad (4)$$

$$RECYCLING_M=0,402*SCH_MEAN \quad (5)$$

Folosind analiza de cale putem distinge efectele directe și indirecte. Efectele directe presupun asocierea unei variabile cu o altă variabilă. Efectele indirecte arată asocierea unei variabile cu alta, asociere mediată prin alte variabile din model. Pentru variabilele din ecuațiile de mai sus, au fost studiate efectele directe și indirecte. Tabelul nr. 4 prezintă o sinteză a intensității efectelor directe și indirecte între variabilele semnificative.

Tabel nr. 4. Efectele directe și indirecte între variabile

| Tip de efect | Predictor | Mediator | Predictand | Coef. |
|--------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------|
| Direct | GDP_CAP | - | R&D_GDP | 0.000 |
| | GDP_CAP | - | RECYCLING_M | 0.462 |
| | GDP_CAP | - | MUNICIPAL_WASTE | 0.018 |
| | R&D_GDP | - | SCH_MEAN | 0.000 |
| | R&D_GDP | - | RECYCLING_M | 0.405 |
| | R&D_GDP | - | MUNICIPAL_WASTE | 0.282 |
| | SCH_MEAN | - | R&D_GDP | 0.000 |
| | SCH_MEAN | - | RECYCLING_M | 0.048 |
| | SCH_MEAN | - | MUNICIPAL_WASTE | 0.444 |
| | MUNICIPAL_WASTE | - | RECYCLING_M | 0.368 |
| Indirect | GDP_CAP | R&D_GDP | SCH_MEAN | 0.011 |
| | GDP_CAP | R&D_GDP | RECYCLING_M | 0.571 |
| | GDP_CAP | R&D_GDP | MUNICIPAL_WASTE | 0.229 |
| | GDP_CAP | MUNICIPAL_WASTE | RECYCLING_M | 0.571 |
| | R&D_GDP | SCH_MEAN | RECYCLING_M | 0.000 |
| | R&D_GDP | MUNICIPAL_WASTE | RECYCLING_M | 0.000 |
| | R&D_GDP | SCH_MEAN | MUNICIPAL_WASTE | 0.174 |
| | SCH_MEAN | R&D_GDP | RECYCLING_M | 0.001 |

Sursa: prelucrări ale autorilor

Se poate observa că, în ceea ce privește *efectele directe* dintre variabile, legăturile cu cea mai mare intensitate sunt cele între PIB/locuitor și rata de reciclare a deșeurilor municipale (0,462) și între media anilor de școală și deșeurile municipale (0,444). De asemenea, în cazul *efectelor indirecte* legăturile cele mai intense sunt între PIB/locuitor și rata de reciclare a deșeurilor municipale (0,571) și între Cheltuielile cu cercetarea și dezvoltarea și deșeurile municipale (0,174).

Validarea rezultatelor analizei de cale se face pe baza valorilor mai multor criterii: *Goodness-of-fit* (GFI), *Adjusted GFI* (AGFI), *Normed fit index* (NFI). Modelele estimate sunt semnificative din punct de vedere statistic (GFI = 1,000; AGFI = 0,997; NFI = 0,999).

Concluzii

Date fiind provocările prezentului, la care lumea socio-economică este chemată să răspundă, considerăm că problema comună a creșterii economice, a dezvoltării durabile și a economiei circulare se reduce la două elemente esențiale: resursele și viața cu implicații directe asupra mediului ca principal generator de resurse. Economia circulară se află la baza unei creșteri economice sănătoase, înlocuiește conceptul de "sfârșit al vieții" cu cel de "restaurare", promovează utilizarea energiei regenerabile, eliminarea utilizării substanțelor chimice toxice, eliminarea deșeurilor printr-un design superior al materialelor, produselor, sistemelor și modelelor de afaceri. Asigurarea credibilității și pragmatismului economiei circulare, privită ca alternativă viabilă la economia liniară și fațetă aplicabilă a dezvoltării durabile, se asigură prin diverse forme de analiză. Suportul de bază al analizei este constituit din grupe de indicatori specifici, baze date, informații și un cadru metodologic adecvat scopului pentru care se efectuează analiza.

Scopul studiului este evaluarea cantitativă a economiei circulare a țărilor OCDE pe baza unui set de indicatori selectați din gruparea realizată în prima parte a articolului. Obiectivele cercetării atât cel teoretic, cât și cel empiric au fost atinse prin studiul literaturii de specialitate, respectiv prin aplicarea unor metode statistice asupra indicatorilor economiei circulare a țărilor OCDE.

Analiza cluster, ca metodă descriptivă, a oferit informații privind clasificarea țărilor OCDE în grupe de țări omogene și caracterizarea acestor grupe după fiecare dintre cei 6 indicatori considerați. De asemenea, această metodă a permis identificarea țărilor cu valori extreme, precum Luxemburg care înregistra, în 2015, cea mai mare valoare a PIB/locuitor, sau Coreea și Israel, cu cel mai mare procent din PIB investit în cercetare și dezvoltare. Rezultatele analizei de corelație sunt complementare cu cele ale analizei de cale întrucât legăturile semnificative identificate în cadrul analizei corelațiilor au fost aprofundate cu ajutorul analizei de cale.

Analiza de corelație indică legături semnificative între indicatorii considerați în cercetare. Astfel, PIB/locuitor este semnificativ corelat cu media anilor de școală, cheltuielile pentru cercetare-dezvoltare și cantitatea de deșeuri municipale. Acest lucru relevă faptul că PIB/locuitor este la baza dobândirii unui nivel crescut de educație. Nivelul de educație sporit contribuie la realizarea unor progrese în domeniul cercetării-dezvoltării care, mai apoi, prin intermediul tehnologiilor moderne, asigură colectarea eficientă a deșeurilor municipale. Un alt set de corelații semnificative este acela între cheltuielile pentru cercetare-dezvoltare, cantitatea de deșeuri municipale și rata de reciclare a deșeurilor municipale. Astfel, un nivel tehnologic avansat determină utilizarea unor tehnologii moderne pentru colectarea eficientă a deșeurilor municipale și reciclarea acestora. În urma analizei, ipotezele formulate în prezentarea metodologică au fost validate.

Pentru a identifica tipurile de efecte existente în cadrul legăturilor dintre indicatori am folosit analiza de cale. Principalele rezultate ale analizei au evidențiat faptul că PIB/locuitor și media anilor de școală au un efect direct asupra cheltuielilor pentru cercetare-dezvoltare. Totodată, s-a putut identifica un efect direct reciproc între media anilor de școală și cheltuielile pentru cercetare-dezvoltare. În ceea ce privește efectele

indirecte, cheltuielile pentru cercetare-dezvoltare au un efect indirect asupra ratei de reciclare a deșeurilor municipale, efect mediat de media anilor de școală.

O limită a cercetării o constituie accesul la date, întrucât o parte din indicatorii economiei circulare nu au fost disponibili. Prin prisma indicatorilor, economia circulară se măsoară printr-un număr mare de indicatori ai dezvoltării sustenabile, indicatori specifici fiind prea puțini, cel puțin la nivel macroeconomic. O altă limită este delimitarea insuficient de clară a economiei sustenabile și a economiei circulare, în literatura de specialitate.

Direcțiile viitoare de cercetare implică analiza evoluției indicatorilor economiei circulare și corelarea acestora cu indicatorii dezvoltării durabile, precum și aplicarea altor metode statistice în analiza acestor indicatori.

Bibliografie

- Åkerman, E., 2016. *Development of Circular Economy Core Indicators for Natural Resources*. MSc. [pdf] Royal Institute of Technology. Available at: <<http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:897309/FULLTEXT01.pdf>> [Accessed 11 December 2017].
- Alwin, D.F. and Hauser, R.M., 1975. The Decomposition of Effects in Path Analysis. *American Sociological Review*. [e-journal] 40(1), pp. 37-47. 10.2307/2094445.
- Banaité, D., 2016. Towards circular economy: Analysis of Indicators in the Context of Sustainable Development. [pdf] Available at: <http://stics.mruni.eu/wp-content/uploads/2016/07/STICS_2016_4_142-150.pdf> [Accessed 14 March 2018].
- Circle Economy, 2015a. *About Circular Economy*. [online] Available at: <<http://www.circleeconomy.com/circular-economy/>> [Accessed 14 December 2017].
- De Jong, E., Engelaer, F. and Mendoza, M., 2015. *Realising opportunities of a circular business model*. [pdf] DLL financial solutions. Available at: <http://www.erikdoorenspleet.nl/wp-content/uploads/2015/04/9a4c8ab9-f329-41a2-a692-38ff796b9808_Realising_opportunities_of_a_circular_business_model_whitepaperDLL.pdf> [Accessed 12 December 2017].
- De Perthuis, C., 2014. Économie circulaire et transition écologique. *Annales des Mines - Responsabilité et environnement*. [e-journal] 76(4), pp. 23-27. 10.3917/re.076.0023.
- Ellen MacArthur Foundation, 2013a. *Towards the Circular Economy. Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition*. [pdf] Ellen MacArthur Foundation. Available at: <<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Ellen-MacArthur-Foundation-Towards-the-Circular-Economy-vol.1.pdf>> [Accessed 11 December 2017].
- Esposito, M., Tse, T., Soufani, K., 2015. Is the Circular Economy a New Fast-Expanding Market?. *Thunderbird International Business Review*. [e-journal] 59(1), pp. 9-14. 10.1002/tie.21764.
- Eurostat. 2017. [online] Available through Eurostat Database <<http://ec.europa.eu/eurostat/data/database>> [Accessed 10 November 2017].
- Finney, M.J., 1972. Indirect Effects in Path Analysis. *Sociological Methods & Research*. [e-journal] 1[2], pp. 175-186. <https://doi.org/10.1177/004912417200100202>.
- Gallagher, J., Basu, B., Browne, M., Kenna, A., McCormack, S., Pilla, F. and Styles, D., 2017. Adapting Stand-Alone Renewable Energy Technologies for the Circular

- Economy through Eco-Design and Recycling. *Journal of Industrial Ecology*. [e-journal] 21. 10.1111/jiec.12703.
- Geng, Y., Fu, J., Sarkis, J., Xue, B., 2012. Towards a national circular economy indicator system in China: an evaluation and critical analysis. *Journal of Cleaner Production*. [e-journal] 23, 216-224. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.07.005>.
- Geng, Y., Sarkis, J., Ulgiati, S., Zhang, P., 2013. Measuring China's Circular Economy. *Science*. [e-journal] 339(1627), pp. 1526-1527. 10.1126/science.1227059.
- IBM, 2011. IBM SPSS Statistics (20). [computer program] IBM. Available at: <https://www.ibm.com/products/spss-statistics?cm_sp=prdxanalytics_3_1_data-science> [Accessed 20 September 2017].
- IBM, 2011. IBM SPSS Amos (20). [computer program] IBM. Available at: <<https://www.ibm.com/ro-en/marketplace/structural-equation-modeling-sem>> [Accessed 21 September 2017].
- Meadows, L.D., Meadows, D.H. and Randers, J., 1972. *The Limits to Growth*. New York: Universe Books.
- Nilsson, L., Persson, P.O., Rydén, L., Darozhka, S. and Zaliauskiene, A., 2007. *Cleaner Production: Technologies and Tools for Resource Efficient Production*. Uppsala: Baltic University Press.
- Pearce, D.W., R.K. Turner, 1990. *Economics of Natural Resources and the Environment*. Baltimore: The Johns University Press.
- Sauvé, S., Bernard, S. and Sloan, P., 2016. Environmental sciences, sustainable development and circular economy: Alternative concepts for trans-disciplinary research. *Environmental Development*, [e-journal] 17(1), pp. 48-56. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2015.09.002>.
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S.E., Fetzer, I., Bennett, E.M., Biggs, R., Carpenter, S.R., de Vries, W., de Wit, C.A., Folke, C., Gerten, D., Heinke, J., Mace, G.M., Persson, L.M., Ramanathan, V., Reyers, B. and Sörlin, S., 2015. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, [e-journal] 347(6223). 10.1126/science.1259855.
- Shuemacker, R.E. and Lomax, R.G., 2010. *A Beginner's Guide to Structural Equation Modeling*. 4th ed. New York: Routledge.
- Tejasri, G., 2015. 7 R's. [online] Available at: <<https://www.slideshare.net/tejasrigopi/7-rs>> [Accessed 14 December 2017].
- ThreeC, 2016. *Circular Economy and Education*. [pdf] ThreeC. Available at: <<http://www.threec.eu/wp-content/uploads/2016/07/threeC-report-Porto-event.pdf>> [Accessed 13 March 2018].
- Williams, R., 2015. Introduction to path analysis. [pdf] University of Notre Dame. Available at: <<https://www3.nd.edu/~rwilliam/stats2/162.pdf>> [Accessed 14 March 2018]
- Worldbank. 2017. [online] Available through Worldbank DataBank: <<http://databank.worldbank.org/data/reports.aspx?source=world-development-indicators&preview=on>> [Accessed 10 November 2017].