

UNIVERSITATEA BABEȘ- BOLYAI
ȘCOALA DOCTORALĂ DE ȘTIINȚE ECONOMICE ȘI GESTIUNEA AFACERILOR
FACULTATEA DE ȘTIINȚE ECONOMICE ȘI GESTIUNEA AFACERILOR
DEPARTAMENTUL STATISTICĂ-PREVIZIUNI-MATEMATICĂ

Rezumatul Tezei de Doctorat

INSTRUMENTE ECONOMETRICE PENTRU ANALIZA PREDICTIVĂ SPAȚIU-TIMP

Coordonator Științific:

Prof. univ. dr. habil. Codruța MARE

Doctorand:

Ștefana CIOBAN (căs. BELBE)

Cluj-Napoca

2025

Cuprins

Introducere.....	1
Obiectivele Tezei.....	2
Structura și conținutul tezei.....	3
1. Metodologii econometrice spațiale și spațio-temporale.....	4
1.1. Importanța spațialității.....	4
1.1.1. Autocorelație și eterogenitate.....	5
1.1.2. Efecte de interacțiune spațială.....	6
1.1.3. Vecinătatea spațială: Matricea de pondere spațială.....	10
1.2. Metodologii spațiale și spațio-temporale.....	12
1.2.1. Date cross-section.....	13
1.2.2. Date spațio-temporale.....	15
1.2.3. Date de tip panel spațial.....	16
1.2.4. Date de tip panel spațial dinamice.....	18
1.3. Concluzii.....	20
2. Aplicații empirice ale metodologiilor spațiale și spațio-temporale.....	22
2.1. Studiu de caz 1. Analiza autocorelației spațiale și aplicarea unui model Cross-Section SARAR-HET - Comportamentul de grupare spațială al Covid-19 condiționat de nivelul de dezvoltare	24
2.1.1. Introducere.....	25
2.1.2. Materiale și metode.....	27
2.1.3. Rezultate și discuții.....	31
2.1.4. Concluzii.....	38

2.2. Studiu de caz 2. Aplicarea unui model Cross-Section SARAR-het Durbin - Regimuri de sănătate hibride: Accesul la medici primari și rata de acceptare a vaccinului COVID-19 în diferite municipalități din România.....	39
2.2.1. Introducere.....	40
2.2.2. Conceptul de regimuri de sănătate globale.....	42
2.2.3. Materiale și metode.....	48
2.2.4. Rezultate.....	56
2.2.5. Discuție.....	60
2.2.6. Concluzie.....	64
2.3. Studiu de caz 3. Aplicarea unui model Cross-Section SDEM - Explorarea autocorelației spațiale și a efectelor de propagare ale acceptării vaccinului COVID-19 în România: O analiză la nivel de municipalitate.....	64
2.3.1. Introducere.....	65
2.3.2. Stadiul de cercetare.....	67
2.3.3. Date.....	68
2.3.4. Metode.....	75
2.3.5. Rezultate.....	77
2.3.6. Discuție.....	81
2.3.7. Concluzii.....	85
2.4. Studiu de caz 4. Aplicarea unui model panel spațial SDEM - Evaluarea efectelor spațio-temporale ale Covid-19 asupra împrumuturilor și economiilor gospodăriilor din România.....	86
2.4.1. Introducere.....	87
2.4.2. Cercetare conexă privind impactul Covid-19 asupra împrumuturilor și economiilor.....	89
2.4.3. Date și metodologie.....	93

2.4.4. Rezultate și discuții.....	97
2.4.5. Concluzii.....	109
2.5. Studiu de caz 5. Aplicarea unui model panel spațial și a unui model panel spațial dinamic Durbin: Integrarea performanței sistemului de sănătate și a stabilității economice în statele membre ale UE.....	111
2.5.1. Introducere.....	112
2.5.2. Metode.....	113
2.5.3. Rezultate și implicații.....	116
2.5.4. Concluzii.....	118
Concluzii.....	120
Bibliografie.....	123
Anexe.....	145

INTRODUCERE

Pe parcursul acestei teze, ofer o privire de ansamblu asupra tehnicilor de modelare econometrică în domeniul spațial și spațio-temporal, precum și asupra aplicațiilor acestora, pentru a răspunde principalelor probleme de cercetare discutate în cadrul comunității științifice din ultimii ani. Scopul este de a defini, explora, aplica și extinde aceste metode pentru a proiecta, în cele din urmă, cele mai potrivite tehnici care abordează atât dependența spațială, cât și temporală a datelor, în contextul înțelegerii fenomenelor economice. În diferite etape, subliniez importanța spațiului în modelarea peisajului socio-economic contemporan (Fratesi et al., 2024).

Studiile de caz alese pentru a pune teoria în practică sunt reprezentate de: evaluarea efectelor spațio-temporale ale pandemiei Covid-19 asupra sectorului bancar din România (subcapitolul 2.4), evaluarea efectelor spațiale ale factorilor comportamentali și socio-economici din România asupra pandemiei (subcapitolele 2.1, 2.2 și 2.3), și efectele spațio-temporale statice și dinamice ale bogăției economice asupra cheltuielilor pentru sănătate în țările UE (subcapitolul 2.5).

Întrebările de cercetare abordate în această teză de doctorat sunt următoarele:

- Cum abordează modelele econometrice avansate spațiale și spațio-temporale limitările modelelor tradiționale atunci când sunt folosite în analiza fenomenelor socio-economice care evoluează rapid?
- În ce moduri contribuie autocorelația spațială, eterogenitatea și relațiile temporale dinamice la îmbunătățirea acurateței predicțiilor și a relevanței politice a modelelor econometrice în contextul crizelor economice și de sănătate publică?
- Care dintre abordările metodologice sunt cele mai importante, chiar critice pentru specificarea și estimarea efectelor de interacțiune spațială astfel încât să se poată captura atât efectele spațiale locale, cât și globale în diferite contexte socio-economice?
- În ce măsură pot îmbunătăți abordările de tip panel spațial înțelegerea noastră asupra interacțiunilor factorilor economici în regiunile interconectate geografic?
- Cum influențează diferitele structuri de date spațiale și temporale – variind de la unități agregate la unități dezagregate – selecția modelului, estimarea și interpretarea efectelor spațio-temporale asupra rezultatelor economice?

- Care sunt provocările metodologice și inovările potențiale implicate în extinderea tehnicilor econometrice clasice pentru a încorpora dependențe complexe spațio-temporale pentru o elaborare mai informată și mai eficientă a politicilor decizionale?

Datele sunt legate intrinsec prin contextul lor geospațial, necesitând modele și metodologii specializate care să poată captura aceste interacțiuni. Scopul acestei lucrări este de a construi un set de cunoștințe care tratează diferitele aspecte ale abordărilor statistice spațio-temporale din două perspective principale: metodologică și empirică. Prin urmare, obiectivele principale ale tezei pot fi precizate astfel:

- Revizuirea și extinderea diferitelor aspecte ale metodologiilor spațio-temporale, evidențiind evoluția abordărilor de modelare, de la abordările clasice, de tip cross-section, la metodologiile dinamice bazate pe panel spațial.
- Demonstrarea aplicabilității empirice a metodelor spațio-temporale prin analize aprofundate ale fenomenelor socio-economice cu caracteristici spațiale și cronologice, cum ar fi răspândirea unei pandemii, comportamentele de vaccinare și impacturile economice.
- Evaluarea modului în care încorporarea autocorelației spațiale și a eterogenității, a efectelor cross-section și temporale, precum și a dinamicii temporale poate îmbunătăți performanța, acuratețea și interpretabilitatea modelelor econometrice, ducând, în cele din urmă, la o mai bună elaborare a politicilor de sănătate publică și a celor economice.

Această teză are următoarea structură:

Capitolul 1 face o trecere în revistă cuprinzătoare a metodologiilor pentru analiza predictivă în spațiu-timp, abordând diferite aspecte legate de: analiza exploratorie a datelor spațiale, modele spațiale cu și fără componenta temporală, inferența optimă, diagnosticul și evaluarea modelului.

Capitolul 2 abordează diagnosticul, analiza și încorporarea diferitelor efecte de interacțiune spațială în diverse setări de date reale, ghidate de diferite direcții ale literaturii metodologice.

1. METODOLOGII ECONOMETRICE SPAȚIALE ȘI SPAȚIO-TEMPORALE

Modelele econometrice spațiale și spațio-temporale sunt extensii ale modelului clasic de regresie liniară estimat prin metoda celor mai mici pătrate (OLS), în care sunt incluse diferite efecte spațiale și spațio-temporale. Toate efectele de interacțiune spațială care sunt de obicei luate în considerare atunci când se extinde modelul clasic OLS gravitează în jurul dependenței spațiale în sine. În această secțiune subliniez importanța luării în considerare a spațialității prin

introducerea noțiunii de autocorelație spațială, care se află în centrul modelării fenomenelor dependente spațial. Discuția evoluează spre efectele de interacțiune spațială și modelare a vecinătății.

1.1.IMPORTANȚA SPAȚIALITĂȚII

Cele mai dificile aspecte din literatura de modelare spațio-temporală par să se concentreze asupra problemelor de autocorelație spațio-temporală și eterogenitate, complicând adesea designul modelului. Autocorelația, în formele sale temporale, spațiale și, în special, spațio-temporale, este indispensabilă pentru o analiză spațio-temporală robustă și de încredere, iar omiterea sa poate duce la predicții slabe sau nerealiste. Deși unele studii sugerează că modelele mai simple pot uneori depăși performanța modelelor complexe spațio-temporale, rolul diagnozei exploratorii rămâne critic. Tehnici precum Moran I și teste LM (Lagrange Multiplier) ajută la identificarea și abordarea dependențelor spațiale, în timp ce eterogenitatea, dacă nu este tratată, poate duce la predicții ne semnificative sau părtinitoare. Abordările robuste, cum ar fi ajustarea pentru heteroscedasticitate prin metode GMM sau bayesiene, asigură inferențe eficiente și precise privind efectele spillover spațiale. Integrarea autocorelației spațiale și a eterogenității este vitală pentru validitatea analizelor datelor de tip panel spațial, de unde și necesitatea unor specificații ample ale modelelor și a diagnozelor pentru a evita interpretările greșite și pentru a menține ridicată performanța predicțiilor.

Pentru a ține cont de diversele dependențele spațiale ce pot fi regăsite în datele analizate, trebuie introduse efecte spațiale în modelele econometrice estimate. Acest lucru implică încorporarea efectelor de interacțiune spațială ca și lag-uri spațiale în termenii modelului: dependenți, independenți și/sau erori. Excluderea tuturor celor trei termeni conduce la un model OLS simplu, în timp ce introducerea tuturor acestora estimează un model General Spațial de tip Nested (GNS). Odată ce se impun restricții asupra modelului GNS, unul sau două efecte de interacțiune spațială sunt excluse, iar modelul poate fi simplificat la: modelul Autoregresiv Spațial (SAR), modelul cu Lag-uri Spațiale în variabilele factori (SLX), modelul de Corecție Spațială a Erorilor (SEM), modelul Autoregresiv Spațial Combinat (SAC sau SARAR), modelul Durbin Spațial (SDM) sau modelul Durbin de Corecție Spațială a Erorilor (SDEM). În esență, modelul poate fi simplificat de la cel mai complex, GNS, la cel mai simplu, OLS. Complexitatea unui model GNS oferă o adaptabilitate extinsă a proceselor spațiale, dar poate duce la supraspecificare; astfel

că, modele mai simple precum SAR sau SLX pot fi o opțiune mai bună. Provocarea constă în estimarea efectelor spațiale potrivite, deoarece modelele diferă în estimarea efectelor directe și indirecte (spillover), cruciale în cercetarea empirică. Deciziile privind modelarea interacțiunilor spațiale, inclusiv dacă efectele ar trebui să fie globale sau locale, depind foarte mult de obiectivele cercetării empirice și de structurile de date spațiale. În cele din urmă, obținerea unor estimări nedeplasate ale parametrilor necesită diagnostice aprofundate și un echilibru între complexitate și simplitate, evitând supraestimarea și asigurând robustețea în capturarea relațiilor spațiale reale.

Lag-urile spațiale sunt introduse în model prin specificarea vecinătății, așa cum este dată de matricea de pondere spațială. Aceasta este o matrice pozitivă care determină rezoluția spațială la care sunt analizate observațiile și care afectează estimarea parametrilor modelului, ceea ce poate duce la distorsiuni în modelul predictiv. Configurații variate, precum vecinătatea binară de ordinul p , distanță geografică (o comparație între matrice de diferite ordine de vecinătate și cele bazate pe distanțe geografice este prezentată în subcapitolul 2.3), cei mai apropiați k vecini (subcapitolul 2.5 prezintă un exemplu al acestui tip de specificație) și matricele bazate pe distanța economică, permit reprezentarea diferită a dependențelor spațiale, fiecare cu niveluri variate de densitate. O matrice dispersată reflectă mai puține conexiuni, în timp ce o matrice densă indică mai multe interacțiuni între unitățile spațiale. Alegerea specificației afectează semnificativ estimarea și interpretarea modelului și ar trebui făcută pe baza cunoștințelor empirice și a unei analize amănunțite a structurilor spațiale impuse de date. Cercetătorii testează adesea specificații multiple a matricei de ponderări spațiale pentru a asigura robustețea, folosind diverse teste, cum sunt funcția de verosimilitate maximă sau criteriile informaționale (AIC) pentru evaluarea performanței modelului¹.

1.2.METODOLOGII SPAȚIALE ȘI SPAȚIO-TEMPORALE

Acest subcapitol acoperă principalele modele econometrice spațiale conform efectelor estimate, urmate de o introducere a dependențelor temporale în modelare, conturând evoluția de la modele cross-section simple la date spațio-temporale complexe și modele de tip panel spațial.

¹ În subcapitolele **Error! Reference source not found.** și **Error! Reference source not found.** diferite matrice ale ponderilor spațiale dense și dispersate sunt calculate și atașate diferitelor modele pentru a permite alegerea modelului optim.

Econometria spațială împarte modelele în statice și dinamice, modelele dinamice încorporând lag-uri temporale în variabila dependentă și cea dependentă cu lag spațial, sporindu-le complexitatea și capacitatea de a modela date complexe. În timp ce modelul OLS de bază poate fi extins pentru a captura dependențele spațiale în modele precum SAR, SLX sau SEM, fiecare abordând diferit estimarea spillover-urilor spațiale, cu diferite grade de flexibilitate și fiabilitate. Modelele complexe precum Modelul Autoregresiv Spațial Combinat cu Eroarea Autoregresivă Spațială² (SARAR sau SAC), SARAR Durbin³, SDM, SDEM⁴ și GNS abordează dependențele spațiale din perspective diferite.

Toate modelele menționate mai sus pot fi respecificate în cazul analizelor multivariate de tip cross-section, spațio-temporale, de tip panel spațial și panel spațial dinamic. Pentru a le respecifica pentru date spațio-temporale, modelele pot încorpora o componentă temporală explicită care permite analiza evoluției sau a diferenței relațiilor spațiale de la o perioadă la alta sub forma modelelor spațiale uniperiodice. Acestea permit analiza spillover-urilor spațiale imediate și a variațiilor pe termen scurt, dar sunt lipsite de capacitatea de a examina efectele specifice persistente spațiale sau eterogenitatea pe întreaga perioadă de studiu.

Modelele spațiale uniperiodice nu pot egala profunzimea de analiză oferită de modelele de tip panel spațial⁵, deoarece acestea introduc efectele specifice temporale și spațiale. Utilizarea acestor efecte depinde de alegerile și obiectivele explicite de specificație ale modelului. Modelele de tip panel spațial au capacitatea de a controla eterogenitatea individuală invariabilă în timp prin adăugarea efectelor cross-section și/sau a celor cronologice pentru variabilele spațial-invariante omise. Astfel că acestea oferă informații valoroase din moment ce ele sunt destinate să surprindă dependențe mai complexe în spațiu-timp: spillover-uri spațiale și dependența cross-section în timp (Baltagi, 2008).

2 Modelul SARAR este aplicat pe un studiu de caz privind efectele de tip cluster spațial ale infecțiilor Covid-19 în subcapitolul 2.1.

3 Modelul SARAR-het Durbin este aplicat pe un studiu de caz privind datele de vaccinare Covid-19 în subcapitolul 2.2, unde variabile independente selectate sunt tratate prin lag spațial.

4 Modelul SDEM este aplicat pe un studiu de caz privind datele de vaccinare Covid-19 în subcapitolul 2.3. Studiul oferă, de asemenea, argumente împotriva utilizării modelului SDM în acest caz și împotriva simplificării modelului la SEM sau SLX.

5 Diferite modele de tip panel spațial, atât în formă statică cât și dinamică, sunt evaluate în subcapitolele 2.4 și 2.5

Adăugând complexitate modelelor spațiale menționate anterior, modelele de tip panel spațial dinamice introduc lag-uri temporale și spațio-temporale pentru a evalua cum influențează observațiile anterioare și efectele acestor de tip spillover, rezultatele actuale. Deși specificarea modelului într-o formă dinamică oferă perspective amănunțite asupra proceselor de tip spillover spațial, acestea impun și provocări în ceea ce privește estimarea parametrilor, cerințele computaționale și interpretarea modelului. Este recomandat să se ia în considerare mai mulți factori atunci când se alege între un model de tip panel spațial static și echivalentul său dinamic. În modelele avansate, factorii comuni reprezintă un alt aspect de complexitate, oferind o abordare generalizată pentru efectele fixe de timp prin modelarea dependențelor cross-section.

Alegerea unuia dintre aceste modele depinde de specificul datelor și de obiectivele de cercetare, fiind recomandate comparații pe baza unor criterii de discriminare precum criteriile informaționale pentru a determina cel mai potrivit model.

2. APLICAȚII EMPIRICE ALE METODOLOGIILOR SPAȚIALE ȘI SPAȚIO-TEMPORALE

Acest capitol este dedicat aplicațiilor empirice ale metodologiilor econometrice spațiale și spațio-temporale de ultimă generație descrise în capitolul anterior. Construind pe bazele metodologice, intenția este de a trece de la teorie la aplicarea abordărilor corecte de modelare pentru datele care evoluează temporal și sunt dependente spațial și de a prezenta aplicarea lor într-o manieră ascendentă a complexității impuse atunci când se trece de la date cross-section clasice, la date panel spațiale.

Analiza prezentată în acest capitol progresează logic, atât în termen de complexitate a datelor, cât și în relațiile dintre diferiți factori socio-economici și indicatori ai pandemiei, pe măsură ce conturăm o imagine mai cuprinzătoare a unei crize globale. Complexitatea modelelor econometrice aplicate crește și ea de la un caz de utilizare la altul, pentru a răspunde nevoii diferitelor tehnici estimare a efectelor de interacțiune spațială, de a trata eterogenitatea spațială și autocorelația spațială atunci când sunt abordate întrebări de cercetare distincte.

Aplicațiile empirice din acest capitol au ca și scop atât validarea metodelor econometrice de ultimă generație discutate în capitolul 1, cât și investigarea aplicabilității lor în analiza problemelor de sănătate publică și economice. Mai mult decât atât, un alt obiectiv este de a aborda secvențial provocările de cercetare ale datelor dependente spațial și în evoluție temporală, în funcție de

scenariile și întrebările de cercetare adresate. În anumite cazuri, rezoluția spațială variază în funcție de disponibilitatea datelor, ceea ce impune o adaptare în interpretarea dependenței și efectelor spațiale, în evaluarea estimărilor modelului, precum și în formularea implicațiilor politice aferente.

În primele patru studii de caz, am ales pandemia ca exemplu esențial pentru a demonstra aplicabilitatea econometriei spațio-temporale și importanța evaluării și a introducerii efectelor de interacțiune spațială. Este de la sine înțeles faptul că răspândirea unui virus, în acest caz, Covid-19, este condiționată de procese spațiale speciale (Vandelli et al., 2024) care necesită atenție pentru a modela eficient efectele directe și indirecte și pentru a evita erorile sistematice în estimările de parametri. Există, de asemenea, un schimb între indicatorii pandemiei ca variabile dependente sau independente, atunci când sunt abordate diferite întrebări de cercetare, astfel evaluând efectele spațiale fie ale sau asupra pandemiei în raport cu peisajul economic. Mai mult, dincolo de procesele spațiale implicite, pandemia a adus date spațiale de tip panel microeconomice de înaltă rezoluție (big data), care permit o evaluare la nivel spațial dezagregat a acestor efecte.

Ultimul studiu de caz schimbă perspectiva contextului analitic înspre cheltuielile de sănătate determinate de factori economici cheie, un subiect în care datele statelor membre ale UE oferă o viziune diferită față de cele la nivel micro al pandemiei. Lucrând cu date agregate la nivel de țară, se permite explorarea econometrică a panelului spațial din perspective semnificativ diferite față de analizele pandemice foarte granulare. Această tranziție demonstrează modul în care varietatea rezoluției spațiale a datelor poate influența atât alegerile metodologice, cât și informațiile relevante pentru politicile decizionale.

2.1.STUDIUL DE CAZ 1. ANALIZA AUTOCORELAȚIEI SPAȚIALE ȘI APLICAREA UNUI MODEL CROSS-SECTION SARAR-HET - COMPORTAMENTUL DE GRUPARE SPAȚIALĂ AL COVID-19 CONDIȚIONAT DE NIVELUL DE DEZVOLTARE

Acest studiu reprezintă prima încercare de a modela spațial și temporal infecția cu Covid-19, explicată de variabile economice ca proxy pentru dezvoltare în România. Această aplicație empirică este bazată pe Cioban și Mare (2022) și abordează probleme de autocorelație și eterogenitate spațială impuse de răspândirea virusului Covid-19, la o rezoluție spațială înaltă: municipalități. Studiul analizează evoluția temporală a coeficienților Moran I globali și locali pentru a detecta autocorelația spațială și spațio-temporală la nivelul unităților administrative

teritoriale locale, urmată de o fază de diagnoză spațială în care se estimează un model OLS simplu al nivelului de dezvoltare în raport cu rata de infecție (Elhorst, 2014). Matricea de ponderare spațială permite testarea dependențelor spațiale care ar putea fi datorate autocorelării spațiale pozitive puternice. După confirmarea proceselor spațiale autoregresive și de medie mobilă, se trece la faza de modelare spațială folosind metoda GMM a lui Anselin (2011) pentru modelul cu lag spațial și de corecție a erorilor - cu heteroscedasticitate pentru a ține cont de eterogenitatea spațială înaltă - pentru a testa cross-section dezvoltarea ca factor de condiționare și canal de transmisie spațială a pandemiei (difuziune).

În ansamblu, acest studiu ilustrează importanța analizei exploratorii a datelor spațiale, când structuri spațiale importante devin vizibile chiar din construcția hărților bazate pe diverse tipuri de quantile: gruparea de tip cluster spațial a pandemiei și condiționarea aranjamentului spațial de șomaj și dezvoltarea locală (LHDI). Evoluțiile temporale sunt introduse treptat, pentru a permite o perspectivă multidimensională asupra asocierii dintre dezvoltare și pandemie. Metodele sunt utilizate într-un mod progresiv, de la hărți simple bazate pe quantile, la rate netezite spațial, urmate de diagnoză spațială și în cele din urmă de modele spațiale mai nuanțate, așa cum a fost detaliat în capitolul anterior.

Metodele și rezultatele obținute relativ la procesele de grupare de tip cluster spațial subliniază principiile teoretice ale econometriei spațiale și necesitatea spațialității în înțelegerea dinamicii complexe a fenomenelor legate de pandemie. Prin această perspectivă, este abordată o lacună critică în cercetare, contribuind cu perspective valoroase asupra localizării diferitelor grade de impact al pandemiei. Cu toate acestea, studiul deschide discuția pentru investigații mai aprofundate pentru a analiza efectele spațio-temporale asupra și ale pandemiei în raport cu mai multe caracteristici socio-economice.

2.2.STUDIUL DE CAZ 2. APLICAREA UNUI MODEL CROSS-SECTION SARAR-HET DURBIN - REGIMURI DE SĂNĂTATE HIBRIDE: ACCESUL LA MEDICI PRIMARI ȘI RATA DE ACCEPTARE A VACCINULUI COVID-19 ÎN DIFERITE MUNICIPALITĂȚI DIN ROMÂNIA

Cel de-al doilea studiu de caz se bazează pe Petrovici et al. (2023) și este menit să construiască pe aranjamentele spațiale identificate în subcapitolul anterior și să ofere o analiză mai nuanțată a pandemiei. Prin urmare, accentul se mută de la econometria spațială de natură

exploratorie, la abordări mai complexe de modelare econometrică spațială multivariată. Mai mult, explorarea efectelor spațiale ale pandemiei se schimbă într-o explorare a atitudinilor locale față de vaccinare.

Acest subcapitol este dedicat analizei formelor complexe de dependență spațială prin extinderea modelului SARAR cross-section menționat anterior, cu o selecție de factori Durbin heteroscedastici (Kelejian și Prucha 2010, Anselin 2011). Aici sunt luate în considerare mai multe procese autoregresive spațiale: cele date de rata de vaccinare (variabilă dependentă) și cele impuse de factori neobservați (corecție a erorilor), alături de efectele indicatorilor la nivel municipal: pandemia - așa cum este ea dată de rata de incidență studiată anterior -, regimul de sănătate, investițiile socialiste, munca, educația și sărăcia. Abordarea econometrică ilustrează flexibilitatea în captarea efectelor de tip spillover spațial doar asupra unei selecții de factori, specificată prin simularea combinațiilor de variabile independente cu lag spațial. Mai mult, în conformitate cu literatura econometriei spațiale, metodologia propusă abordează heteroscedasticitatea și procesele spațiale autoregresive impuse de multitudinea de factori analizați și de granularitatea spațială ridicată.

În contextul regimurilor globale de sănătate și al ezitării față de vaccinul Covid-19, sunt tratate atât efectele spațiale endogene, cât și exogene, pentru a oferi o înțelegere mai profundă a disparităților și inegalităților regionale ale României. Acest studiu de caz ilustrează cum alegerea abordărilor de modelare spațială adecvate poate facilita analiza provocărilor contemporane în care spațialitatea joacă un rol esențial. De asemenea, este prezentată o evaluare temporală a acestor disparități și a proceselor spațiale atașate, care, din punct de vedere metodologic, evidențiază necesitatea utilizării unei abordări predictive spațio-temporale incipiente. Rezultatele obținute în acest subcapitol stabilesc un precedent pentru cercetări ulterioare privind procesele spațiale ale disparităților în sănătate.

2.3.STUDIUL DE CAZ 3. APLICAREA UNUI MODEL CROSS-SECTION SDEM - EXPLORAREA AUTOCORELAȚIEI SPAȚIALE ȘI A EFECTELOR DE PROPAGARE ALE ACCEPTĂRII VACCINULUI COVID-19 ÎN ROMÂNIA: O ANALIZĂ LA NIVEL DE MUNICIPALITATE

Această secțiune avansează în ceea ce privește aplicarea empirică a metodologiilor spațiale și spațio-temporale pentru a evalua grupările spațiale ale ratei de vaccinare și factorii determinanți ai

acesteia, concentrându-se pe o întrebare de cercetare diferită: Cum influențează factorii socio-economici, ai pieței muncii, sociali și de sănătate ezitarea față de vaccinul Covid-19 la nivel municipal în România? Constatările cercetării sunt prezentate de Mare et al. (2024) cu intenția de a exemplifica relevanța, alegerea și specificația unor metode mai elaborate care permit examinarea efectelor spațiale ale vaccinării, condiționate de factori multipli. În acest caz, sunt căutate dovezi ale efectelor locale de tip spillover spațial, prin urmare eroarea împreună cu toate variabilele independente sunt corectate spațial într-un model SDEM (LeSage și Pace, 2009 și Elhorst, 2014).

Și în acest caz statisticile Moran I sunt utilizate pentru detectarea autocorelației spațiale globale și locale (Griffith, 2003, și Anselin, 1995) ale atitudinilor față de vaccinare. Totuși, abordarea diferă de cazul incidenței Covid-19 prezentat în subcapitolul 2.1, deoarece sunt disponibile și, prin urmare, analizate doar datele vaccinării pentru două momente în timp. Autocorelația spațială a modificărilor în timp dintre cele două momente este tratată folosind LISA diferențial, ceea ce permite identificarea clusterelor spațiale semnificative ale vaccinării în timp.

Făcând un alt pas metodologic înspre econometria spațio-temporală complexă, acest subcapitol abordează validarea robusteții atât a modelului spațial utilizat, cât și a matricei de ponderare spațială. În acest sens, mai multe matrice de ponderare spațială sunt construite pe baza informațiilor geografice ale municipalităților. Se estimează mai multe modele spațiale pentru fiecare specificație a matricei de ponderare spațială, conform abordării metodologice de la un model general (nested) de tip SDEM la unul specific: SLX și SEM. Estimările rezultate sunt comparate folosind diverse criterii: AIC, log-likelihood, Breusch-Pagan și pseudo- R^2 , LR, Hausman spațial.

Având în vedere toate rezultatele obținute, acest studiu empiric contribuie la literatura distribuției spațiale a intervențiilor de sănătate publică, precum și la literatura econometriei spațiale. Susțin că acest lucru se datorează unei analize extinse a proceselor de autocorelație spațială condiționate de numeroși factori și datorită validării riguroase a specificațiilor de modelare spațială. Mai mult, abordarea vine cu perspective bazate pe dovezi privind clusteringul spațial și contagierea și difuziunea inter-municipală a atitudinii față de vaccinare, perspective care aduc implicații importante și recomandări pentru strategii publice adaptate dependențelor spațiale impuse de pandemie și de canalele sale de propagare socio-economică.

2.4.STUDIUL DE CAZ 4. APLICAREA UNUI MODEL PANEL SPAȚIAL SDEM - EVALUAREA EFECTELOR SPAȚIO-TEMPORALE ALE COVID-19 ASUPRA ÎMPRUMUTURILOR ȘI ECONOMIILOR GOSPODĂRIILOR DIN ROMÂNIA

Acest subcapitol se bazează pe Belbe et al. (2024) și abordează o importantă lacună în cercetare prin considerarea modelării spațiale de tip panel, în care pandemia Covid-19 acționează ca factor și nu ca variabilă dependentă, așa cum s-a observat în studiile empirice anterioare. Mai mult, cercetarea explorează efectele spațio-temporale ale pandemiei asupra sectorului bancar la nivel de județ în România. Acest lucru implică faptul că, în timp ce studiile de caz prezentate anterior se concentrează mai mult pe specificația și evoluția temporală a autocorelației spațiale și abordează dependența spațio-temporală pe un plan secundar, actualul subcapitol îndreaptă atenția asupra includerii simultane a spațiului și timpului în specificația modelului predictiv final.

Acest studiu de caz ilustrează o abordare metodologică distinctă, astfel că, în locul modelării de la general la specific, analiza dependenței spațiale începe prin estimarea celui mai simplu model, OLS, pentru o selecție de momente cheie ale pandemiei. Metodologia crește progresiv în complexitate prin adăugarea mediei regresiiilor cross-section lunare estimate în moduri diferite: OLS agregat, efecte fixe cross-section, efecte fixe de timp și modelul cu efecte fixe bidirecționale. În toate etapele acestei faze exploratorii de modelare, matricea de ponderare spațială este atașată pentru a permite detectarea dependenței spațiale în diferite forme (Anselin, 1988, Elhorst, 2014). În plus, autocorelația spațială și temporală sunt identificate și luate în considerare prin diferite mijloace: statisticile Moran I globale individuale și agregate (Beenstock și Felsenstein, 2019) și boxplot-urile funcționale (Sun și Genton, 2011). De asemenea, metodologia include monitorizarea continuă a proceselor de autocorelație spațială în reziduurile tuturor modelelor, inclusiv în forma lor pătratică.

Pornind de la modelele simple OLS, metodologia avansează spre estimarea unui model mai general: SDEM cu efecte fixe individuale și specifice timpului pentru a controla eterogenitatea spațio-temporală neobservată. Aici ilustrez estimarea, validarea și interpretarea efectelor de tip spillover local și a proceselor autoregresive spațiale în termenul de eroare pornind de la ipoteza existenței dependențelor spațiale cauzate de factori neobservați. Procesul de modelare se finalizează cu această abordare datorită unei bune potriviri spațiale a estimărilor modelelor. Toate

metodele sunt adaptate la o rezoluție spațială mai mică (un nivel de agregare mai ridicat) decât în studiile de caz anterioare: județele.

În acest studiu este subliniată importanța econometriei spațio-temporale în exploatarea impacturilor multidimensionale ale perturbărilor globale. În analiza prezentată în această secțiune, pandemia se dovedește a influența semnificativ sectorul bancar atât în spațiu, cât și în timp. Abordarea metodologică, precum și rezultatele aferente, oferă perspective valoroase pentru factorii de decizie și instituțiile financiare, subliniind încă o dată importanța eterogenităților la nivel de județ și a efectelor de tip spillover spațial.

2.5.STUDIUL DE CAZ 5. APLICAREA UNUI MODEL PANEL SPAȚIAL ȘI A UNUI MODEL PANEL SPAȚIAL DINAMIC DURBIN: INTEGRAREA PERFORMANȚEI SISTEMULUI DE SĂNĂTATE ȘI A STABILITĂȚII ECONOMICE ÎN STATELE MEMBRE ALE UE

Această secțiune se bazează pe capitolul din carte *Integrating Health System Performance and Economic Stability: A Geospatial and AI-Driven Approach to Transparency in FinTech*⁶ și are scopul de a demonstra aplicabilitatea celor mai avansate tehnici de modelare din literatura de econometrie spațio-temporală, și anume SDM pentru panel spațial și SDM pentru date de tip panel spațial dinamic (LeSage și Pace, 2009; Elhorst, 2014; Shi și Lee, 2017). Analiza se diferențiază de studiile de caz legate de Covid-19 și se axează pe problema transparenței în FinTech prin prisma procedeele econometrice explicabile sau transparente, combinate cu tehnici AI de tip „cutie neagră (blackbox)” (von Eschenbach, 2021). Mai mult, în loc să modeleze comportamentul individual (microeconomie), acesta este un studiu al modelelor macroeconomice, deci o evaluare a efectelor globale de tip spillover spațial ale PIB-ului, speranței de viață și venitului net asupra cheltuielilor de sănătate din statele membre ale Uniunii Europene.

Prin aplicarea SDM pentru panel spațial, teza evoluează către includerea efectelor fixe cross-section și de timp într-un model care ia în considerare dependența spațială impusă de variabila dependentă. Similar cu subcapitolul anterior (2.4), modelez aici date spațiale de-a lungul timpului tratând autocorelația spațială prin introducerea diferitelor efecte de interacțiune spațială în model, care permit estimarea structurilor de date panel ca efecte fixe bidirecționale. Mai mult, așa cum a

⁶ În curs de publicare la Springer ca și capitol al cărții *Transparency In FinTech*

fost cazul în subcapitolul 2.3, specificația matricei de ponderare spațială este abordată prin simularea rezultatelor unor modele multiple pentru a asigura conectivitatea pentru țările izolate. Al doilea model spațial, ajustat cu datele din acest studiu, evaluează dinamica temporală pe lângă estimările modelului specificat anterior și exemplifică modul în care interacțiunile spațio-temporale pot fi tratate când se trece de la un model static la unul dinamic. În acest caz, nu mai modelez panelul spațial ca pe o colecție de observații cross-section, ci iau în considerare explicit dinamica temporală prin lag-ul variabilei dependente.

Dimensiunea de modelare spațio-temporală abordată aici are implicații importante pentru factorii politici decizionale și, încă o dată, subliniază importanța spațialității atunci când se modelează fenomenele socio-economice cu dependențe spațio-temporale. Dat fiind faptul că transparența în FinTech este subiectul principal al acestui capitol de carte, studiul introduce utilizarea AI pentru a aborda potențiale extensii ale modelelor econometrice pentru panel spațial interpretabile și, deci, transparente, pentru a permite interpretabilitatea modelului. Prin urmare, una dintre principalele contribuții este pentru literatura domeniului FinTech, esențială pentru factorii de decizie, cercetători și oficialii din domeniul sănătății publice pentru a înțelege cum să se obțină sisteme explicabile de modelare și predicție bazate pe AI pentru date spațio-temporale la nivel multinațional și sub-național. Cadrul acoperit în carte se bazează pe combinații de metodologii geospațiale din două discipline complementare: Econometrie și AI. Datorită naturii econometrice a obiectivelor generale ale acestei teze, cadrul bazat pe AI este doar introdus la un nivel incipient în acest subcapitol, lăsând cititorul să urmeze o descriere mai detaliată la publicarea capitolului de carte.

CONCLUZII

În această teză, mi-am propus să fac un pas înainte spre asamblarea metodologiilor pentru datele poligonale spațio-temporale, potențialele lor extensii, limitări și avantaje. Prin urmare, este conturată o imagine de ansamblu a stadiului actual al cercetării în econometria spațială și spațio-temporală, urmată de cercetări empirice aplicate pe baza acestor metodologii, de la cele mai simple la cele mai complexe. Contextul empiric se schimbă de la un studiu la altul: de la efectele pandemiei Covid-19 și asupra acesteia, la reziliența sistemului de sănătate dată de bogăția economică. Mai mult, aplicațiile acoperă multiple rezoluții spațiale: de la cele foarte înalte oferite

de geografii locale ale municipalităților la județe și apoi la o rezoluție foarte scăzută oferită de statele membre ale UE.

În primul rând, această cercetare a abordat probleme de interes legate de econometria contemporană: autocorelația spațială și spațio-temporală, eterogenitatea spațială și spațio-temporală, multicolinearitatea, specificarea matricei de ponderare spațială, estimarea și inferența modelului, calitatea și disponibilitatea datelor și transparența modelului. În al doilea rând, aplicațiile empirice explorează și modelează relațiile dintre fenomenele economice reale și cele socio-sanitare, demonstrând beneficiile și provocările econometriei avansate spațio-temporale. Mai mult, aceste studii de caz ilustrează cum luarea de decizii informate și formularea de politici decizionale pot fi realizate prin utilizarea corectă a metodologiilor și luarea în considerare a efectelor spațiale relevante, în funcție de fenomenul studiat, de rezoluția spațială și temporală și de obiectivele de cercetare.

În conformitate cu obiectivele mele, am abordat sistematic întrebările de cercetare enunțate, arătând cum modelarea avansată poate depăși limitările seriilor de timp și abordărilor cross-section. Investigațiile empirice demonstrează cum autocorelația spațială, eterogenitatea, dependențele cross-section și cronologice influențează calitatea și interpretarea modelului. În orice moment adresez importanța spațialității și, prin urmare, a selecției specificațiilor adecvate a matricei de ponderare spațială.

Printre limitările acestei cercetări, disponibilitatea datelor a reprezentat o constrângere semnificativă. Aceasta se datorează faptului că modelele econometrice depind de date de rezoluție spațială și temporală ridicată pentru a capta eficient relațiile și efectele spațiale dintre variabile, deoarece structurile specifice vecinătății spațio-temporale sunt captate diferit sau pur și simplu sunt omise în modelarea datelor la rezoluții spațiale și temporale scăzute. În unele cazuri, a trebuit să folosesc proxy-uri pentru diferite fenomene de interes, deoarece datele nu au fost raportate la o granulație temporală înaltă, ceea ce a restricționat arealul tehnicilor econometrice ce ar fi putut fi utilizate. Pentru a depăși acest obstacol, am folosit cele mai recente valori ale datelor disponibile sau am analizat date cu granulație spațială și/sau temporală mai redusă. În unele cazuri, mai mulți factori au fost neglijați din cauza unui număr mare de valori lipsă din setul inițial de date.

Trebuie să subliniez că cercetarea aplicațiilor empirice din această teză se încheie cu modelarea datelor de panel spațial dinamic, în timp ce modelul de panel spațial dinamic cu factori comuni (Elhorst, 2022) este un subiect complex care merită un studiu amplu dedicat.

Ca o etapă viitoare de cercetare, intenția mea este să avansez de la econometrie, deci de la abordările de modelare bazate pe statistici, către modelarea de bazată pe machine learning (ML) și hibridă (cum ar fi combinațiile între ML și tehnicile statistice) spațio-temporală. Dacă modelele ML și, implicit, cele determinate de date (data-driven), pot depăși abordările statistice și numerice convenționale, este încă o problemă în dezbatere și studii comparative suplimentare ar putea ajuta la clarificarea acestei probleme în cercetare. De asemenea, intenționez să contribui în continuare cu aplicații empirice pentru modelele care presupun erori heteroscedastice (ARCH și GARCH spațial, vezi Otto et al., 2018) ca o continuare a cercetării curente asupra tehnicilor de modelare econometrică spațială și spațio-temporală.

BIBLIOGRAFIE SELECTATĂ

- Anselin, L. (1988). A test for spatial autocorrelation in seemingly unrelated regressions. *Economics Letters*, 28(4), 335-341. [https://doi.org/10.1016/0165-1765\(88\)90009-2](https://doi.org/10.1016/0165-1765(88)90009-2)
- Anselin, L. (1995). Local indicators of spatial association—LISA. *Geographical analysis*, 27(2), 93-115. <https://doi.org/10.1111/J.1538-4632.1995.TB00338.X>
- Anselin, L. (2011). GMM estimation of spatial error autocorrelation with and without heteroskedasticity. Note (GeoDa Center, Arizona State University, 2011).
- Baltagi, B. H. (2008). *Econometric analysis of panel data* (Vol. 4, pp. 135-145). Chichester: John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-53953-5>
- Beenstock, M., Felsenstein, D. (2019). *The econometric analysis of non-stationary spatial panel data* (pp. 1-19). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-03614-0>
- Belbe, Ș., Moldovan, D., Andrieș, A. M., Otto, P., Mare, C. (2024). Evaluation of the space-time effects of Covid-19 on household loans and savings in Romania-A spatial panel data approach at county level. *Emerging Markets Review*, 63, 101209, <https://doi.org/10.1016/j.ememar.2024.101209>
- Cioban, Ș., Mare, C. (2022). Spatial clustering behaviour of COVID-19 conditioned by the development level: Case study for the administrative units in Romania. *Spatial Statistics*, 49, 100558. <https://doi.org/10.1016/j.spasta.2021.100558>
- Elhorst, J. P. (2014). *Spatial econometrics: from cross-sectional data to spatial panels* (Vol. 479, p. 480). Heidelberg: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-40340-8>
- Elhorst, J. P. (2022). The dynamic general nesting spatial econometric model for spatial panels with common factors: Further raising the bar. *Review of Regional Research*, 42(3), 249-267. <https://doi.org/10.1007/s10037-021-00163-w>
- Fratesi, U., Elhorst, P., Abreu, M., Amaral, P., Bond-Smith, S., Corrado, L., Ditzen, J., Felsenstein, D., Franklin, R.S., Fuerst, F., Monastiriotis, V., Piras, G., Quatraro, F., Ravazzolo, F., Tranos, E., Tsiotas, D., Yu, J. (2024). The inextricable nature of space and economy. *Spatial Economic Analysis*, 19 (2), 107-114.

- Griffith, D.A., (2003). Spatial Autocorrelation and Spatial Filtering: Gaining Understanding through Theory and Scientific Visualization. Springer. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-24806-4>
- Kelejian, H., Prucha, I.R., 2010. Specification and estimation of spatial autoregressive models with autoregressive and heteroskedastic disturbances. *J. Econom.* 157, 53–67. <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2009.10.025>
- LeSage, J., Pace, R. K. (2009). Introduction to Spatial Econometrics. Chapman and Hall/CRC. <https://doi.org/10.1201/9781420064254>
- Mare, C., Belbe, Ș., Petrovici, N. (2024). Exploring the spatial clustering and spillover effects of COVID-19 vaccination uptake in Romania: an analysis at municipality level. *AStA Advances in Statistical Analysis*, 1-22, <https://doi.org/10.1016/j.ememar.2024.101209>
- Otto, P., Schmid, W., Garthoff, R. (2018). Generalised spatial and spatiotemporal autoregressive conditional heteroscedasticity. *Spatial Statistics*, 26, 125-145. <https://doi.org/10.1016/j.spasta.2018.07.005>
- Petrovici, N., Belbe, Ș., Mare, C., Cotoi, C. (2023). Hybrid health regimes: Access to primary care physicians and COVID-19 vaccine uptake across municipalities in Romania. *Social Science & Medicine*, 337, 116305. <https://doi.org/10.1016/j.ememar.2024.101209>
- Shi, W., Lee, L. F. (2017). Spatial dynamic panel data models with interactive fixed effects. *Journal of Econometrics*, 197(2), 323-347. <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2016.12.001>
- Sun, Y., Genton, M. G. (2011). Functional boxplots. *Journal of computational and graphical statistics*, 20(2), 316-334. <https://doi.org/10.1198/jcgs.2011.09224>
- Vandelli, V., Palandri, L., Coratza, P., Rizzi, C., Ghinoi, A., Righi, E., Soldati, M. (2024). Conditioning factors in the spreading of Covid-19–Does geography matter? *Heliyon*. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25810>
- Von Eschenbach, W. J. (2021). Transparency and the black box problem: Why we do not trust AI. *Philosophy & Technology*, 34(4), 1607-1622. <https://doi.org/10.1007/s13347-021-00477-0>