

# Safe and sustainable by design: Προηγμένες προσεγγίσεις αξιολόγησης και ολοκληρωμένου σχεδιασμού υλικών σε επαφή με τρόφιμα

Τσιρώνη Θεοφανία  
Αναπληρώτρια Καθηγήτρια

Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών  
Τμήμα Επιστήμης Τροφίμων και Διατροφής του Ανθρώπου  
Εργαστήριο Μηχανικής και Επεξεργασίας Τροφίμων



[ftsironi@aua.gr](mailto:ftsironi@aua.gr)

# Συσκευασία & Ασφάλεια

**Η ασφάλεια των υλικών συσκευασίας τροφίμων αναφέρεται στον βαθμό στον οποίο ένα υλικό που έρχεται σε επαφή με τρόφιμο δεν απελευθερώνει χημικές ουσίες σε ποσότητες που μπορούν να προκαλέσουν βλάβες στην ανθρώπινη υγεία, άμεσα ή μακροπρόθεσμα.**

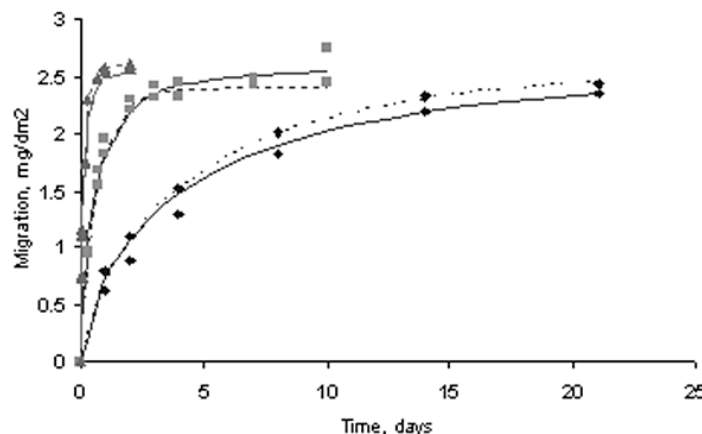
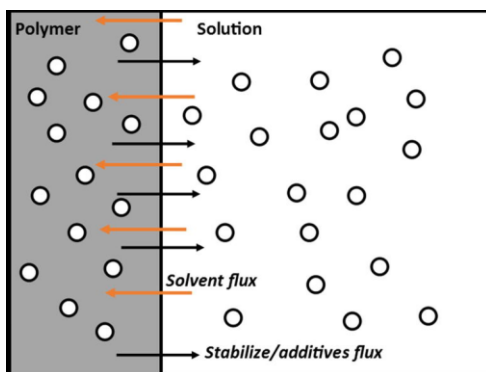
Ασφαλείς ουσίες:

- είτε δεν μεταναστεύουν καθόλου
- είτε μεταναστεύουν σε πολύ χαμηλά επίπεδα (κάτω από τα επιτρεπτά όρια)
- είτε, ακόμη κι αν μεταναστεύουν, δεν έχουν τοξικολογικά σημαντικές επιπτώσεις με βάση τα διαθέσιμα επιστημονικά δεδομένα



# Συσκευασία & Ασφάλεια

## Μαθηματική περιγραφή της μετανάστευσης (μοριακή διάχυση)



JRC TECHNICAL REPORTS

Practical guidelines on the application of migration modelling for the estimation of specific migration

*In support of Regulation (EU)  
No 10/2011 on plastic food  
contact materials*

Eddo J. Hoekstra (Ed.), Rainer Brandsch, Claude Dequatre, Peter Mercea, Maria-Rosaria Milana, Angela Störmer, Xenia Trier, Olivier Vitrac, Annette Schäfer and Catherine Simoneau

$$\frac{C(t) - C_{\infty}}{C_0 - C_{\infty}} = \exp \left[ - \left( \frac{t}{\tau_0 \exp \left( \frac{E_a}{R} \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \right)} \right) \right]$$

# Συσκευασία & Ασφάλεια

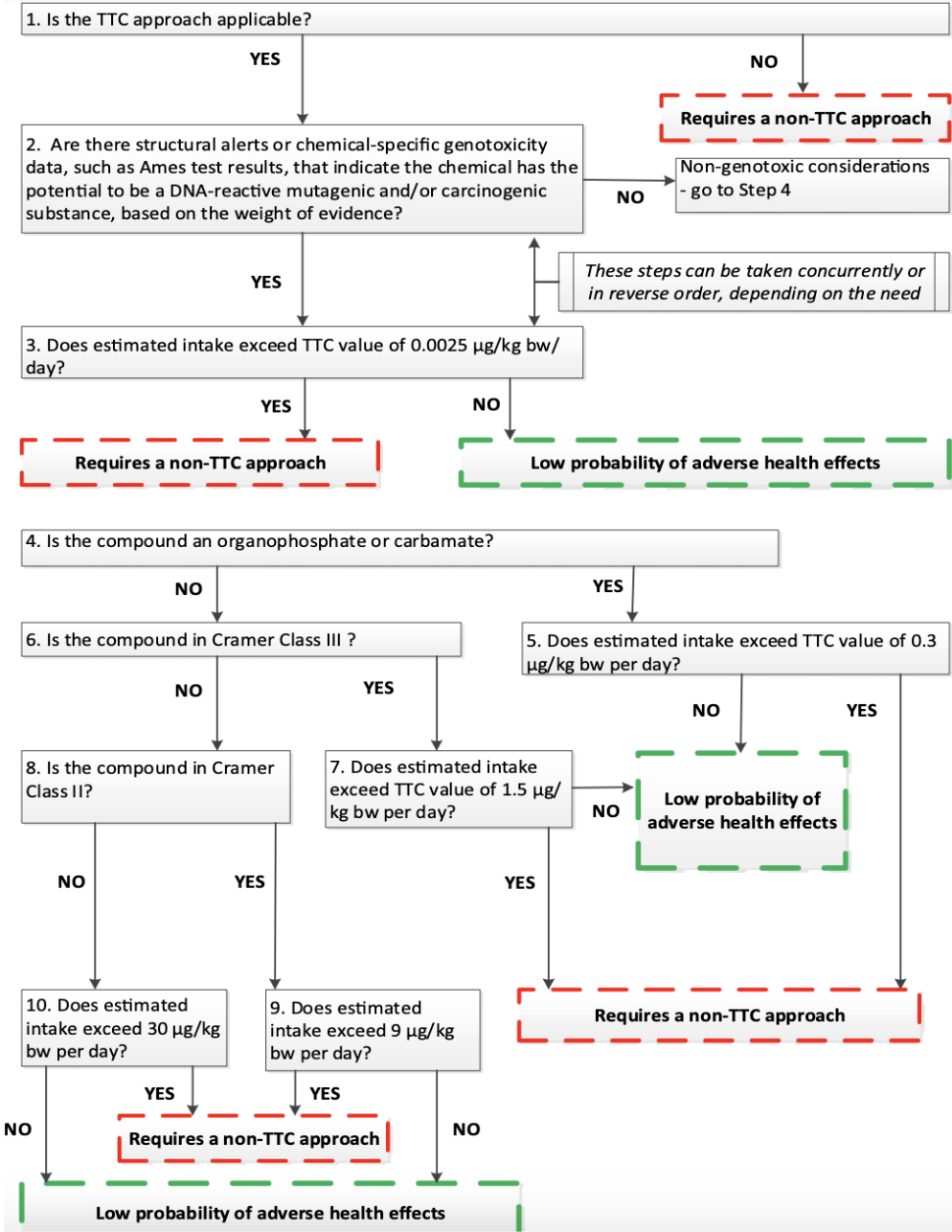
Σύγχρονες προσεγγίσεις:

The TTC decision tree (EFSA)

## GUIDANCE DOCUMENT

ADOPTED: 24 April 2019  
doi: 10.2903/j.efsa.2019.5708

Guidance on the use of the Threshold of Toxicological Concern approach in food safety assessment

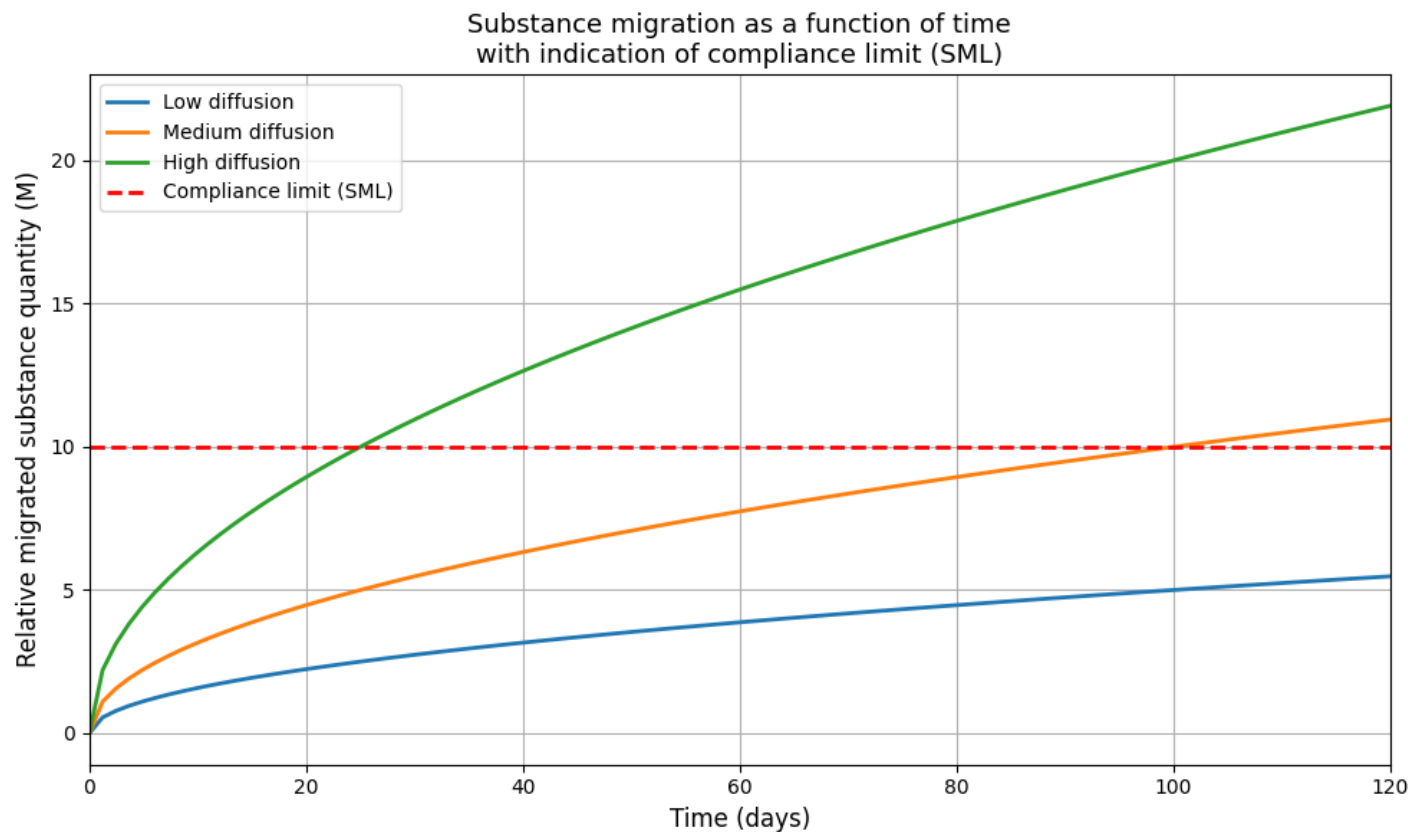


# Συσκευασία & Ασφάλεια

Μετανάστευση vs χρόνος ζωής τροφίμου

*Η μετανάστευση είναι χρονικά εξαρτώμενη*

$$M_t \propto \sqrt{t}$$



# Συσκευασία & Ασφάλεια

## ✓ *New materials – new uncertainties*

Biopolymers and materials with recycled content:

- Insufficient toxicological documentation
- Conflicts between sustainability and safety

Our approach:

Interdisciplinary approach → food packaging technology, engineering, biotechnology and cell biology

[www.nature.com/scientificreports](https://www.nature.com/scientificreports)

## scientific reports

Check for updates

OPEN

### In vitro cytotoxicity evaluation of a CMC-SA edible packaging film for migration and safety assessment

Katerina I. Kalliampakou<sup>1,2</sup>, Evmorfia Athanasopoulou<sup>1</sup>, Aikaterini Spanou<sup>1</sup>, Emmanouil Flemetakis<sup>2</sup> & Theofania Tsironi<sup>1</sup>✉



pack4fish



Ε.Π. ΑΛΙΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΑΣ  
2014 - 2020



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Ταμείο  
Θάλασσας και Αλιείας



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης  
και Τροφίμων



ΕΣΠΑ  
2014-2020  
ανάπτυξη - εργασία - αλληλεγγύη



Στρατηγική συνάντηση Ενιαίου Φορέα Ελέγχου Τροφίμων με το Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών (ΓΠΑ): Δράσεις του ΓΠΑ στον τομέα της αξιολόγησης επικινδυνότητας στο πλαίσιο λειτουργίας του δικτύου οργανισμών του άρθρου 36 της EFSA, ΓΠΑ 18/12/2025



# Βιώσιμη συσκευασία

Η ισχύουσα νομοθεσία (ΕΕ) 2019/904 για τη μείωση των αποβλήτων αναφέρεται κυρίως στα πλαστικά μιας χρήσης (Single-Use Plastics)

## PPWR 2025/40

- All packaging must be recyclable by 2030.
- Classified into recyclability performance grades (A, B, C).
- Materials with <70% recyclability face higher Extended Producer Responsibility (EPR) fees.



Official Journal  
of the European Union

12.6.2019

EL

Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης

L 155/1

I

(Νομοθετικές πράξεις)

ΟΔΗΓΙΕΣ

ΟΔΗΓΙΑ (ΕΕ) 2019/904 ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ

της 5ης Ιουνίου 2019

σχετικά με τη μείωση των επιπτώσεων ορισμένων πλαστικών προϊόντων στο περιβάλλον

EN  
L series

2025/40

22.1.2025

REGULATION (EU) 2025/40 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL

of 19 December 2024

on packaging and packaging waste, amending Regulation (EU) 2019/1020 and Directive (EU) 2019/904, and repealing Directive 94/62/EC

# Βιώσιμη συσκευασία

## ✓ *Packaging vs food shelf life*

Alternative packaging systems should provide adequate protection and retain food shelf life

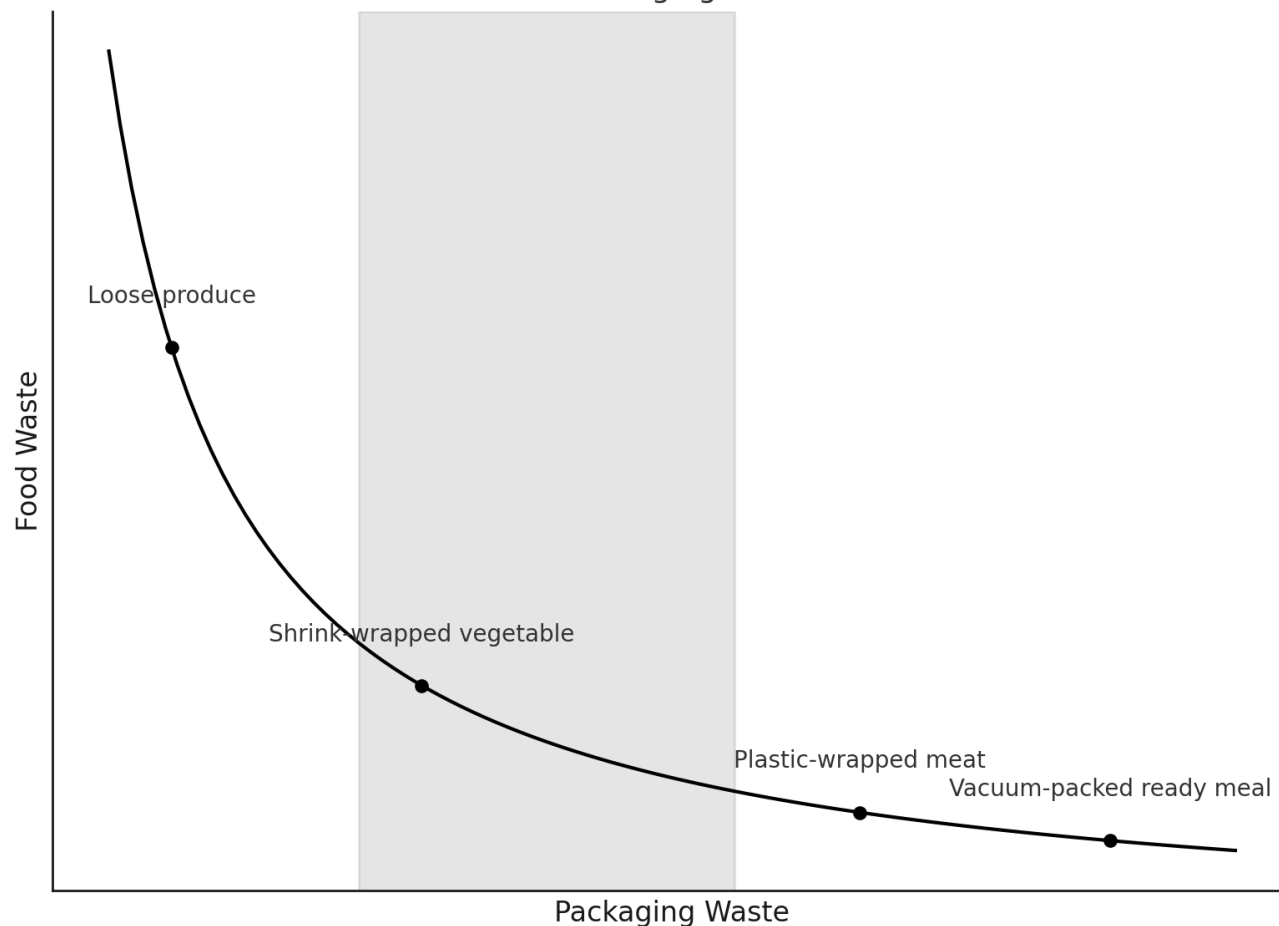
→ Enhance properties: e.g. barriers, mechanical strength

**PACKAGING WASTE REDUCTION**

**VS**

**FOOD WASTE REDUCTION**

Trade-Off Between Packaging Waste and Food Waste





# Βιώσιμη συσκευασία

## ✓ Packaging vs food properties

We need to know **very well** the properties and spoilage mechanism of the target food product

- Provide the necessary protection by designing adequate packaging systems
- Prevent overpackaging
- Provide enhanced protection for shelf life extension (MAP, active packaging)

**For just 8 euros more, we'll peel your bananas for you and decrease their shelf life by over a week ;)**





## Safe and Sustainable by Design chemicals and materials - Methodological Guidance

Abbate, E., Garmendia-Aguirre, I., Bracalente, G., Mancini, L., Tosches, D., Rasmussen, K., Bennett, M.J., Rauscher, H., Sala, S.

2024



# Safe and Sustainable by Design (SSbD)

- Προσέγγιση που ενσωματώνει:
  - Ασφάλεια για την ανθρώπινη υγεία
  - Περιβαλλοντική βιωσιμότητα
  - Λειτουργικές απαιτήσεις υλικών
- Εφαρμογή από **πρώιμα στάδια σχεδιασμού**
- Ευθυγράμμιση με την ευρωπαϊκή στρατηγική για βιώσιμα υλικά

# Safe and Sustainable by Design (SSbD)

**Μοντέλα πρόβλεψης μετανάστευσης**  
**Σενάρια worst-case & refined exposure**

**Ολοκλήρωση:**

- ο Πειραματικών δεδομένων
- ο Μοντελοποίησης

**Ολιστική αξιολόγηση με βάση:**

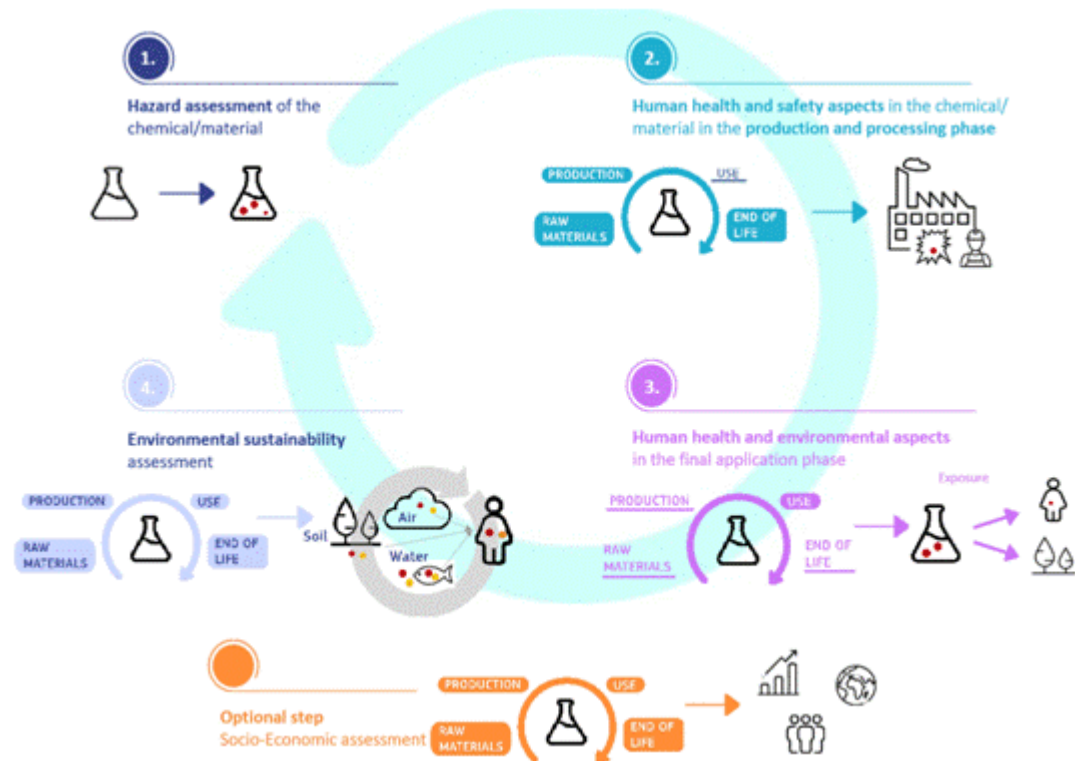
- ο Hazard
- ο Exposure
- ο Sustainability metrics

**Ανίχνευση trade-offs:**

- ο Χαμηλότερη τοξικότητα vs υψηλότερο περιβαλλοντικό κόστος

**Υποστήριξη τεκμηριωμένων αποφάσεων σχεδιασμού**

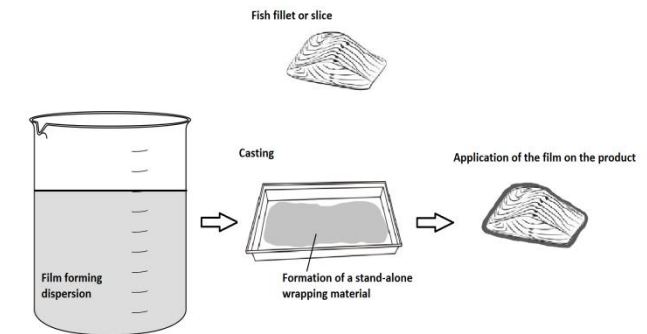
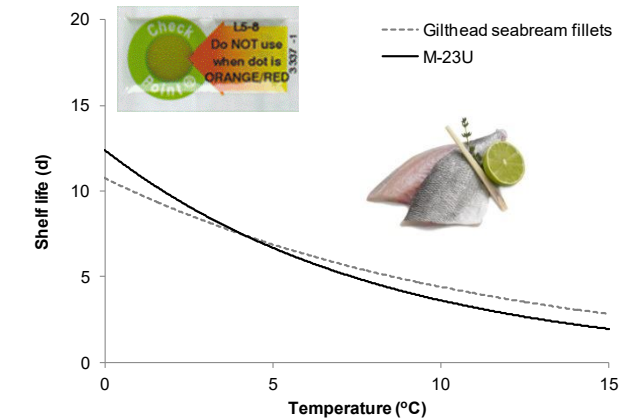
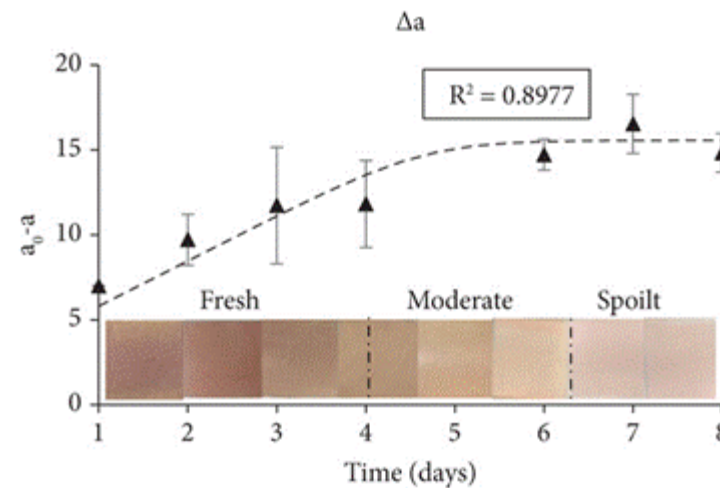
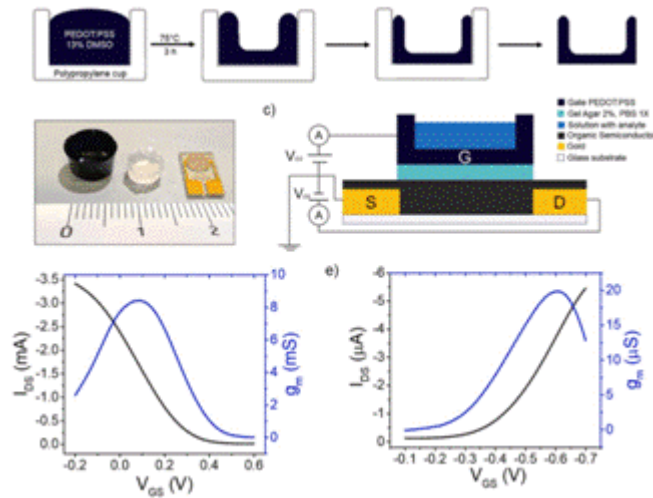
Μετάβαση από: Κλασική αξιολόγηση τελικού προϊόντος  
 → **σχεδιασμό βασισμένο στον κίνδυνο (risk-based design)**







- Optimization of novel value CHains for fish and seafood by developing an integrated sustainable approach for improved quality, safety and waste reduction



## Pack4Fish (2021-2023)



pack4fish

- Ανάπτυξη καινοτόμων, βιοαποικοδομήσιμων υλικών συσκευασίας με χρήση υποπροϊόντων ιχθυερών
- Ενίσχυση της προστατευτικής δράσης συμβατικών και καινοτόμων υλικών συσκευασίας με χρήση νεοφανών τεχνολογιών και συστατικών
- Αξιολόγηση της εφαρμοσιμότητας των καινοτόμων υλικών για τη συσκευασία διαφορετικών ειδών αλιευμάτων
- Ανάλυση κύκλου ζωής και τεχνοοικονομική ανάλυση

### Quality and safety evaluation of alternative packaging materials for fish and seafood: Bioactivity, toxicity and virus transmission potential

K.I. Kallimpakou<sup>1</sup>, S. Makka<sup>2</sup>, M. Koutantou<sup>2</sup>, M. Katsarou<sup>3</sup>, E. Athanasopoulou<sup>3</sup>, A. Spanou<sup>3</sup>, E. Angelakis<sup>2</sup>, D. Houhoula<sup>4</sup>, E. Fletmetakis<sup>1</sup>, T. Tsironi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Department of Biotechnology, Agricultural University of Athens, Greece ([milem@aia.gr](mailto:milem@aia.gr))

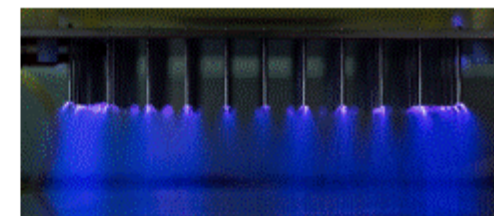
<sup>2</sup> Department of Diagnostics, Hellenic Pasteur Institute, Athens, Greece ([e.angelakis@pasteur.gr](mailto:e.angelakis@pasteur.gr))

<sup>3</sup> Department of Food Science and Human Nutrition, Agricultural University of Athens, Greece ([ftsironi@aia.gr](mailto:ftsironi@aia.gr))

<sup>4</sup> Department of Food Science and Technology, University of West Attica, Greece ([dhouhoula@uniwa.gr](mailto:dhouhoula@uniwa.gr))



kinPen® IND,  
(neoplas GmbH)



Large gap multi-pin cold plasma reactor  
(PlasmaLeap Technologies)

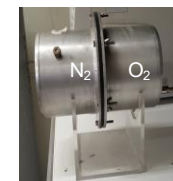
### Sustainability assessment of alternative packaging materials of fish

D. Ladakis, V. Korka, E. Athanasopoulou, A. Spanou, E. Basdeki, A. Koutinas, T. Tsironi

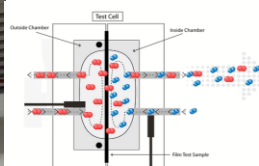
Department of Food Science and Human Nutrition, Agricultural University of Athens, Greece  
([ftsironi@aia.gr](mailto:ftsironi@aia.gr))



Theta Flex  
(Biolin Scientific)



Oxygen Transmission rate (OTR)  
measurement (ASTM F2622)



Water Vapor Transmission  
(ASTM E96/E96M)

# Ενδεικτικές εφαρμογές

## AQUAPACK (2025-2029)



Funded by  
the European Union



- Sustainable packaging solutions for food and cosmetics based on aquatic biomass and side-streams

### AQUAPACK Project Objectives

#### SUSTAINABLE MATERIALS

- ✓ Develop biodegradable packaging materials from algae and fish side-streams
- ✓ Valorize aquatic side-streams & by-catch
- ✓ Extract functional compounds via biorefinery

#### PRODUCT QUALITY & SAFETY

- ✓ Preserve food & cosmetic integrity
- ✓ Extend shelf life of perishable goods
- ✓ Utilize antimicrobial properties of algae

#### CIRCULAR ECONOMY & POLICY

- ✓ Build academia-industry partnerships
- ✓ Harmonize EU policy for sustainable packaging
- ✓ Support EU Green Deal & Farm-to-Fork objectives



 ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ  
AGRICULTURAL UNIVERSITY OF ATHENS

 CCMAR  
Centro de Ciências do Mar

 Cyprus  
University of  
Technology

 University of Zadar  
Universitas Studiorum  
Jadertina | 1396 | 2009 |

 UCL

 SE  
TU  
Official  
Technological  
University of  
South East  
Technical  
University

 La Rochelle  
Université

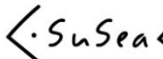


Universidad  
Católica de  
Valencia  
San Vicente Mártir



UNIMORE  
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI  
MODENA E REGGIO EMILIA

 UK Research  
and Innovation

 SuSea

 Organic  
Bioelectronics

 MARIKOMERC  
30 years

 Flexia  
Delivering Packaging Experiences

 KORRES

 Blue Island



 EFSA  
FOCAL POINT

Στρατηγική συνάντηση Ενιαίου Φορέα Ελέγχου Τροφίμων με το Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών (ΓΠΑ): Δράσεις του ΓΠΑ στον τομέα της αξιολόγησης επικινδυνότητας στο πλαίσιο λειτουργίας του δικτύου οργανισμών του άρθρου 36 της EFSA, ΓΠΑ 18/12/2025



## BIOSUPPACK (2021-2026)



- Demonstrative process for the production and enzymatic recycling of environmentally safe, superior and versatile PHA-based rigid packaging solutions by plasma integration in the value chain
- Aim to upscale new, economically convenient and high-performing rigid packaging solutions based on polyhydroxyalkanoates (PHA), which are polyesters produced in nature by numerous microorganisms



Renewable  
resources



PHA-based rigid  
packaging



Upscale the  
production



Acceptance  
of the new  
BioSupPack  
products



Value  
chain



EU-  
standards  
compliance



Maximisation  
of impact



Plasma  
technology



Sort BioSupPack  
waste

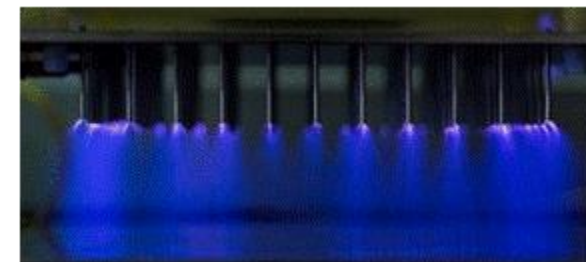


BioSupPack  
recyclability

Industrial  
Biotechnology



Plasma technology





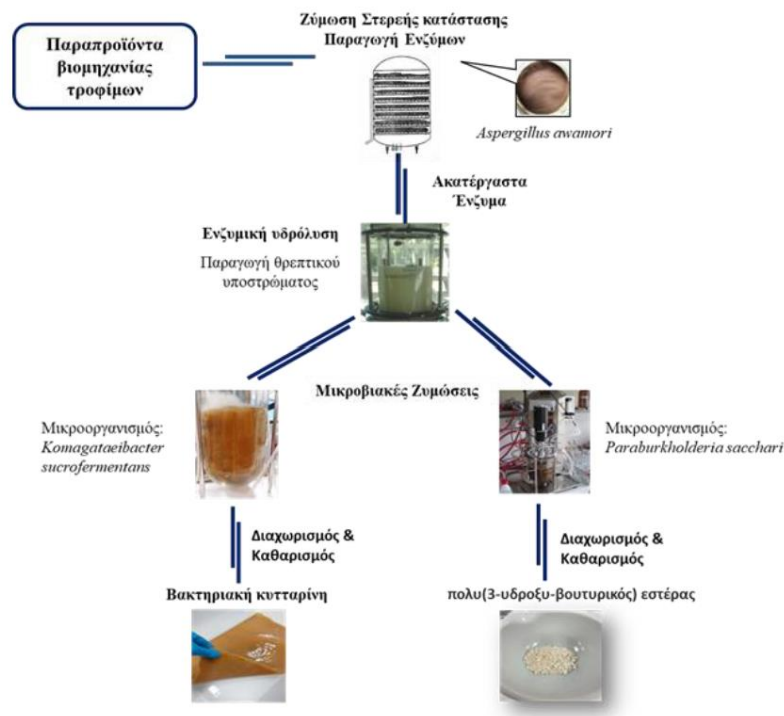
# Ενδεικτικές εφαρμογές

## ΒΙΟΣΤΡΟΦΗ (2018-2022)



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

- Ανάπτυξη μιας ολοκληρωμένης αειφόρας διεργασίας αξιοποίησης βιομηχανικών παραπροϊόντων αλευροβιομηχανίας για την παραγωγή υψηλής προστιθέμενης αξίας ενεργούς συσκευασίας τροφίμων από βιοαποικοδομήσιμα βιογενή πολυμερή (PHB) ενισχυμένων με μικρο- ή νάνο- ίνες βακτηριακής κυτταρίνης.
- Η συσκευασία παράχθηκε σε πιλοτική κλίμακα αποκλειστικά από βιομηχανικά παραπροϊόντα (πίτουρο σίτου) ενώ τα ενεργά συστατικά ήταν επίσης βιολογικής προέλευσης



Στρατηγική συνάντηση Ενιαίου Φορέα Ελέγχου Τροφίμων με το Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών (ΓΠΑ): Δράσεις του ΓΠΑ στον τομέα της αξιολόγησης επικινδυνότητας στο πλαίσιο λειτουργίας του δικτύου οργανισμών του άρθρου 36 της EFSA, ΓΠΑ 18/12/2025

# Ενδεικτικές εφαρμογές

## Beet2Bioref (2020-2023)

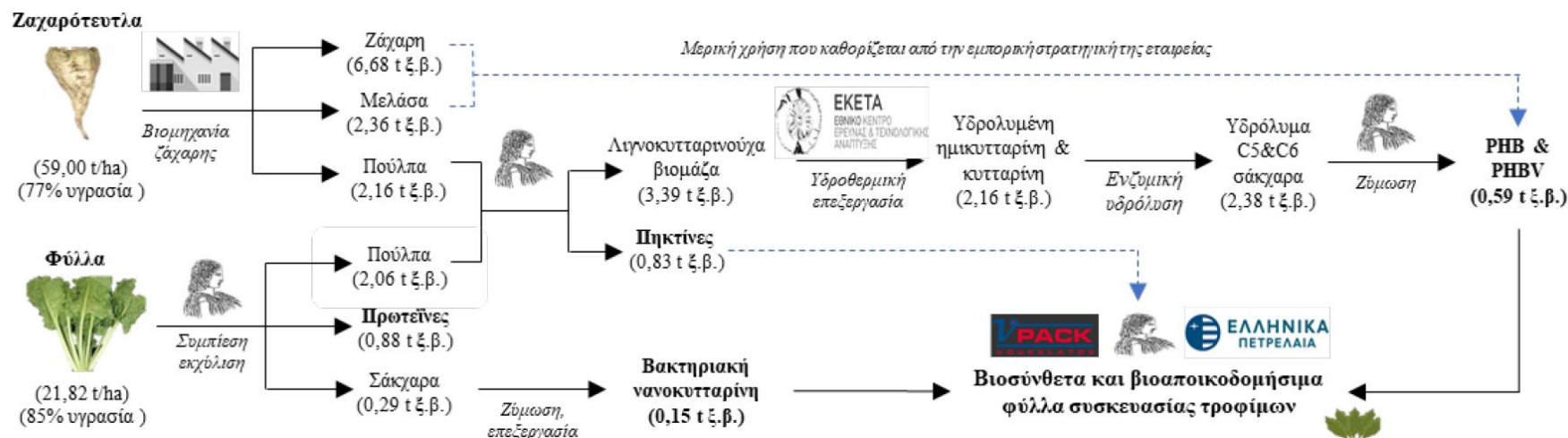


ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ  
AGRICULTURAL UNIVERSITY OF ATHENS



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

- Η αναβάθμιση της Ελληνικής Βιομηχανία Ζάχαρης σε ένα αιεφόρο και πρωτοπόρο για τα Ευρωπαϊκά δεδομένα βιοδιυλιστήριο
- Η βελτιστοποίηση της βιοτεχνολογικής παραγωγής πολυ(3-υδροξυ-βουτυρικού εστέρα) (PHB), του συμπολυμερούς του 3-υδροξυ-βουτυρικού οξέος και του 3-υδροξυ-βαλερικού οξέος (PHBV), βακτηριακής κυτταρίνης καθώς επίσης και πηκτινών και πρωτεϊνών με στόχο τους βέλτιστους δείκτες αιεφορίας
- Η παραγωγή καινοτόμων βιοσύνθετων υλικών συσκευασίας που θα ικανοποιούν τις απαιτήσεις βέλτιστου σχεδιασμού για συσκευασία νωπών κηπευτικών/λαχανικών και αρτοσκευασμάτων και επιπλέον την απαίτηση ανακυκλωσιμότητας σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Στρατηγική για όλες τις πλαστικές συσκευασίες



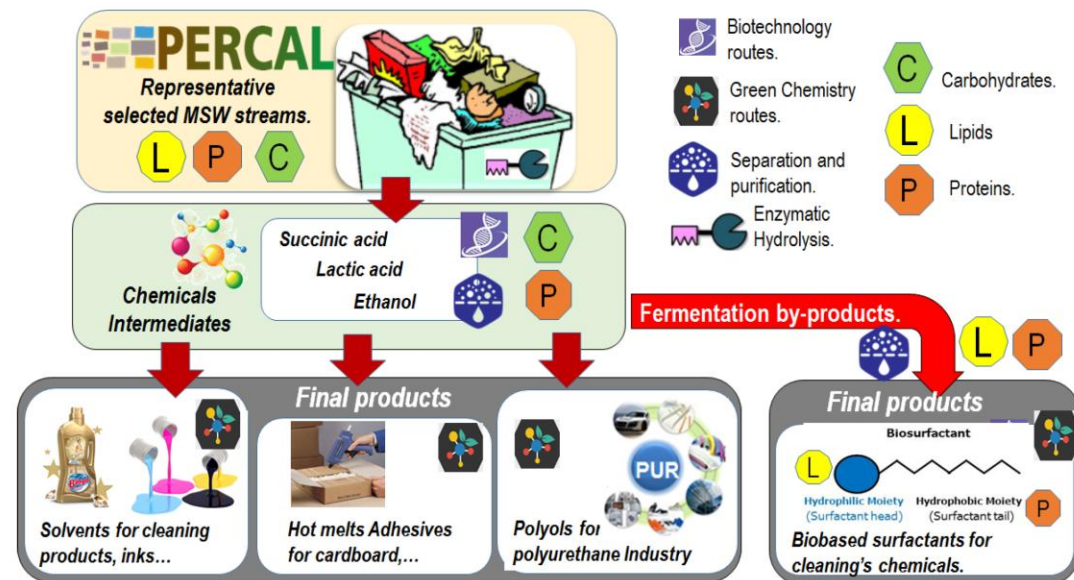
# Ενδεικτικές εφαρμογές



## PERCAL (2017-2020)

### Project objectives

- Production and purification of lactic acid from MSW
- Production and in-line purification of succinic acid from MSW using membrane electrolysis technology
- Produce ethyl lactate solvents for use in cleaning products and inks
- Produce lactic acid based hot melt adhesives for application in cardboard and labels
- Produce polyester and polyether polyols for application in polyurethanes



Styllanou et al. *Biotechnol Biofuels* (2020) 13:72  
<https://doi.org/10.1186/s13068-020-01708-w>

Biotechnology for Biofuels

#### RESEARCH

#### Open Access

Evaluation of organic fractions of municipal solid waste as renewable feedstock for succinic acid production

Eleni Stylianou<sup>1</sup>, Chrysanthi Pateraki<sup>1\*</sup>, Dimitrios Ladakis<sup>1</sup>, María Cruz-Fernández<sup>2</sup>, Marcos Latorre-Sánchez<sup>2</sup>, Caterina Col<sup>3</sup> and Apostolis Koutinas<sup>1</sup>



Chemical Engineering Journal  
 Volume 466, 15 June 2023, 142877



Development of an electrochemical membrane bioreactor for succinic acid production and in situ separation with engineered *Yarrowia lipolytica* cultivated on municipal biowaste hydrolysate

Eleni Stylianou<sup>a</sup>, José M. Carvajal-Arroyo<sup>b</sup>, Dimitrios Ladakis<sup>a</sup>, Carol Sze Ki Lin<sup>c</sup>, Vera Eßmann<sup>d</sup>, Sebastian Dörr<sup>d</sup>, Jakob Marbach<sup>d</sup>, Korneel Rabaey<sup>b</sup>, Apostolis Koutinas<sup>a,1</sup>, Chrysanthi Pateraki<sup>a,1</sup>



# Ενδεικτικές εφαρμογές

## LUCRA (2023-2027)

### Project objectives

- Novel approach to waste valorisation
  - Synergistic treatment of relevant waste streams (bio-waste and saw dust)
- Cutting edge technologies
  - Thermal hydrolysis
  - Enzymatic hydrolysis
  - Extraction of valuable sugars and nutrients
- Succinic Acid as a versatile platform molecule with applications across various industries
  - Packaging, personal care, food and beverage, textile, agriculture, automotive



ORGANIC MUNICIPAL SOLID WASTE &  
WOOD WASTE SIDE STREAM



BIO-BASED SUCCINIC ACID



## Engineering Pectin Biobased Films with Bacterial Cellulose Nanostructures for Enhanced Food Packaging Performance

Mirva Sarafidou, Erminta Tsouko\*, Anastasios Giannoulis, Demetres Briassoulis, George E. Baltatzis, Ioannis P. Trougakos, Theofania Tsironi, and Apostolis Koutinas\*

Future Foods 11 (2025) 100563



Comparative study of packaging materials developed from fish and legume protein concentrates

Evmorfia Athanasopoulou<sup>a,1</sup>, Angeliki Katsiroumpa<sup>a,1</sup>, Chrysavgi Gardeli<sup>b</sup>, Theofania Tsironi<sup>a,\*</sup>

International Journal of Biological Macromolecules 282 (2024) 136754



Efficient pectin recovery from sugar beet pulp as effective bio-based coating for Pacific white shrimp preservation

Stamatia Tsokri<sup>a,1</sup>, Mirva Sarafidou<sup>a,1</sup>, Erminta Tsouko<sup>b,\*</sup>, Evmorfia Athanasopoulou<sup>a</sup>, Antiopi Vardaxi<sup>b</sup>, Stergios Pispas<sup>b</sup>, Theofania Tsironi<sup>a</sup>, Apostolis Koutinas<sup>a</sup>



Development of antimicrobial coatings: exploiting electrospinning technology with sugar beet pulp pectin

Mirva Sarafidou<sup>a</sup>, Ana C. Mendes<sup>b,\*</sup>, Dimitrios Ladakis<sup>c</sup>, Theofania Tsironi<sup>a</sup>, Apostolis Koutinas<sup>a</sup>

## scientific reports

### OPEN Synthesis and characterization of polysaccharide- and protein-based edible films and application as packaging materials for fresh fish fillets

Evmorfia Athanasopoulou<sup>1</sup>, Francesco Bigi<sup>2</sup>, Enrico Maurizzi<sup>3</sup>, Eva Iris Eleftheria Karellou<sup>4</sup>, Christos S. Pappas<sup>5</sup>, Andrea Quartieri<sup>2</sup> & Theofania Tsironi<sup>1,2</sup>

RESEARCH ARTICLE OPEN ACCESS

### Functionality and Storage Evaluation of Fish Freshness Indicators Based on the Incorporation of Anthocyanins Extracted From Winery Grape Pomace Into Polyvinyl Alcohol/Starch Films

Evgenia Basdeki<sup>1</sup>, Enrico Maurizzi<sup>2</sup>, Francesco Bigi<sup>1</sup>, Andrea Quartieri<sup>3</sup>, Andrea Pulvirenti<sup>2</sup>, Theofania Tsironi<sup>1</sup>

# Safe and sustainable by design: Προηγμένες προσεγγίσεις αξιολόγησης και ολοκληρωμένου σχεδιασμού υλικών σε επαφή με τρόφιμα



Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών  
Τμήμα Επιστήμης Τροφίμων και Διατροφής του Ανθρώπου  
Εργαστήριο Μηχανικής και Επεξεργασίας Τροφίμων

Κουτίνας Αποστόλης  
Καθηγητής ΓΠΑ  
[akoutinas@aua.gr](mailto:akoutinas@aua.gr)

Τσιρώνη Θεοφανία  
Αναπληρώτρια Καθηγήτρια ΓΠΑ  
[ftsironi@aua.gr](mailto:ftsironi@aua.gr)

Thank you!