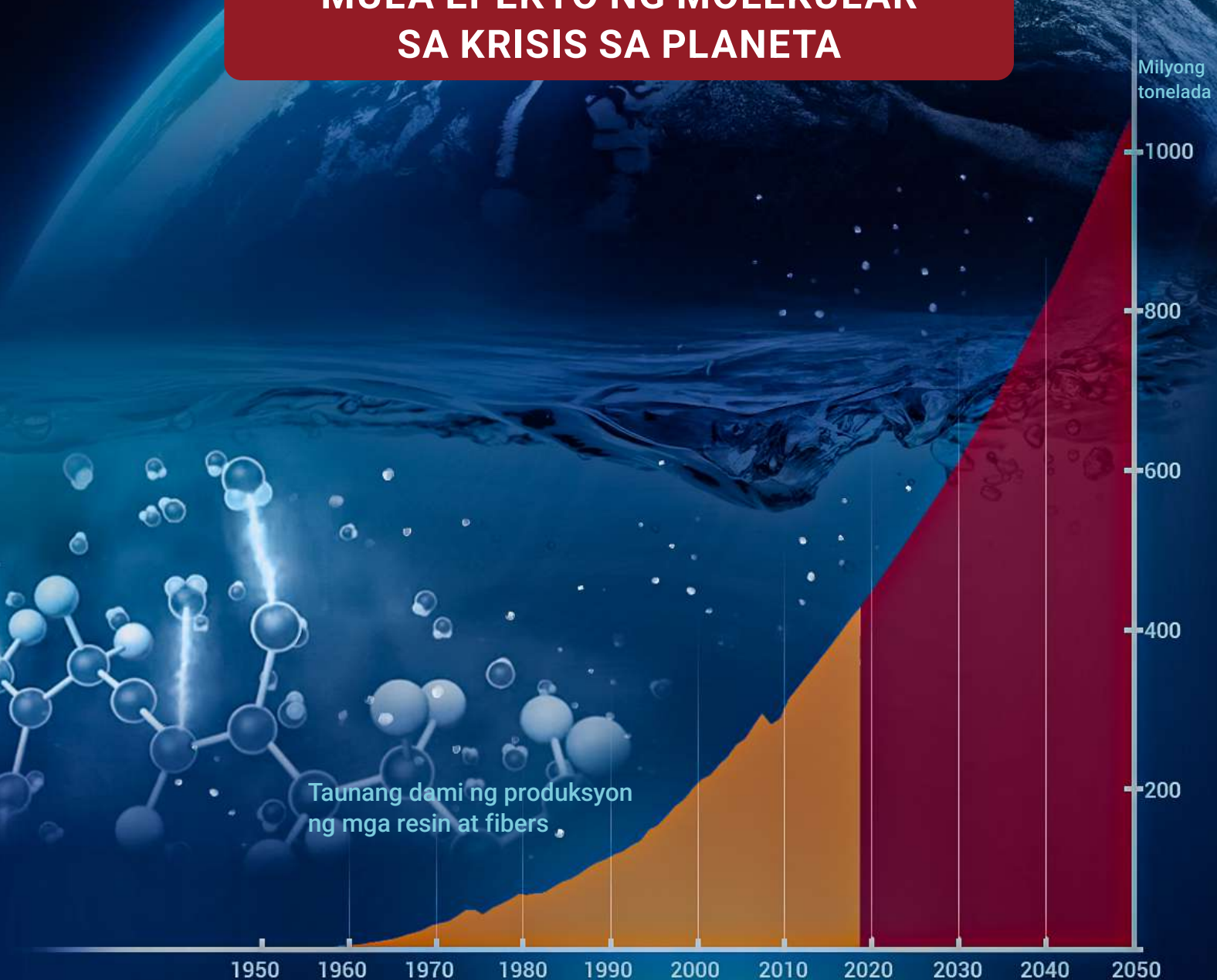


ULAT

MICROPLASTICS
AT NANOPLASTICS

NANOPLASTICS SA BIOSPHERE

MULA EPEKTO NG MOLEKULAR
SA KRISIS SA PLANETA



ULAT

NANOPLASTICS SA BIOSPHERE

MULA EPEKTO NG MOLEKULAR
SA KRISIS SA PLANETA

AUTHOR



Internasyonal na pampublikong kilusan "ALLATRA"

REPASONG INSTITUSYONAL Akademikong Pagtutulungan



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
BOLIVIANA

Unibersidad Ng Katoliko sa Bolivia ng "San Pablo" - UCB
Pakultad ng Makakalikasang Inhinyeriya at Pagsasaliksik



DICYT
Departamento de Investigación,
Ciencia y Tecnología - UAJMS.

Juan Misael Saracho Indipendyenteng Pamantasan - UAJMS
Departamento ng Pagsasaliksik, Agham at Teknolohiya

SIYENTAPIKONG/MAKASIYENSYANG KATUWANG



**CREATIVE
SOCIETY**

Internasyonal na proyekto "Malikhaing Lipunan"

Tinutukoy ng ulat ang mga rehiyon na nauuri na bilang mga delikado na sona, gayundin ang mga nananatiling medyo ligtas. Ang lumalalang sitwasyon, kasama ang kakulangan ng mga epektibong paraan ng proteksyon laban sa epektong ito, ay maaaring pilitin ang mga tao na umalis sa mga kontaminadong lugar upang maghanap ng mas ligtas na kondisyon ng pamumuhay. Ito ay lilikha ng mga paunang kondisyon para sa walang kontrol na malawakang migrasyon, na, sa turn, ay maaaring magpapataas ng panlipunang tensyon, magpapataas ng pasanin sa mga imprastraktura sa lunsod at masira ang ekonomiya.

Kaya, ang problema sa kapaligiran ng plastic pollution ay unti-unting bubuo sa isang macroeconomic at geopolitical.

Nakatuon ang ulat sa pangangailangang tugunan ang problema ng microplastics, na nag-aalok ng bagong pagtingin sa pamamahagi, epekto at mga kahihinatnan nito. Ang pagiging natatangi ng trabaho ay nakasalalay sa interdisciplinary na diskarte, pagsasama-sama ng data sa pisikal, kemikal at biyolohikal na aspeto ng plastic na polusyon. Ginagawa nitong may kaugnayan ang ulat para sa mga mananaliksik at siyentipiko mula sa malawak na hanay ng mga disiplina na interesado sa pagbuo ng mga napapanatiling solusyon para sa isang ligtas na kinabukasan para sa sangkatauhan at planeta.

MGA KAHIHINATNAN NG PLASTIK NA POLUSYON: MICRO- AT NANOPLASTICS (MNP) BILANG ISANG BAGONG KADAHILANAN SA KRISIS SA PLANETA

Ang plastik ay naging mahalagang bahagi ng modernong buhay. Pag-iimpake, mga pinggan, damit, kasuotan sa paa, mga produktong pangkalinisan, mga produktong medikal, kagamitan sa transportasyon at komunikasyon - karamihan sa mga bagay na nakapalibot sa isang tao ay gawa sa plastik. Gayunpaman, umiiral ito hindi lamang sa anyo ng mga malalaking bagay, kundi pati na rin sa anyo ng mga microscopic na particle na inilabas mula sa mga produktong ito - micro- at nanoplastics. Ang microplastics ay mga plastic na particle na mas mababa sa 5 mm ang laki, na makikita sa mata. Ang mga nanoplastics, sa kabaligtaran, ay may mga sukat na mas mababa sa 1 micron (isang milyon ng isang metro), kung kaya't ang karamihan sa mga particle na ito ay hindi makikita kahit na sa ilalim ng isang karaniwang mikroskopyo.

Ang mga plastik na materyales ay kinakatawan ng maraming uri, ngunit lahat sila ay batay sa mga polimer - natural o sintetikong mga compound na binubuo ng malalaking molekula na magkakaugnay. Dahil sa kanilang natatanging mga katangian ng kemikal, ang mga polimer ay lubos na matibay at lumalaban sa epekto.

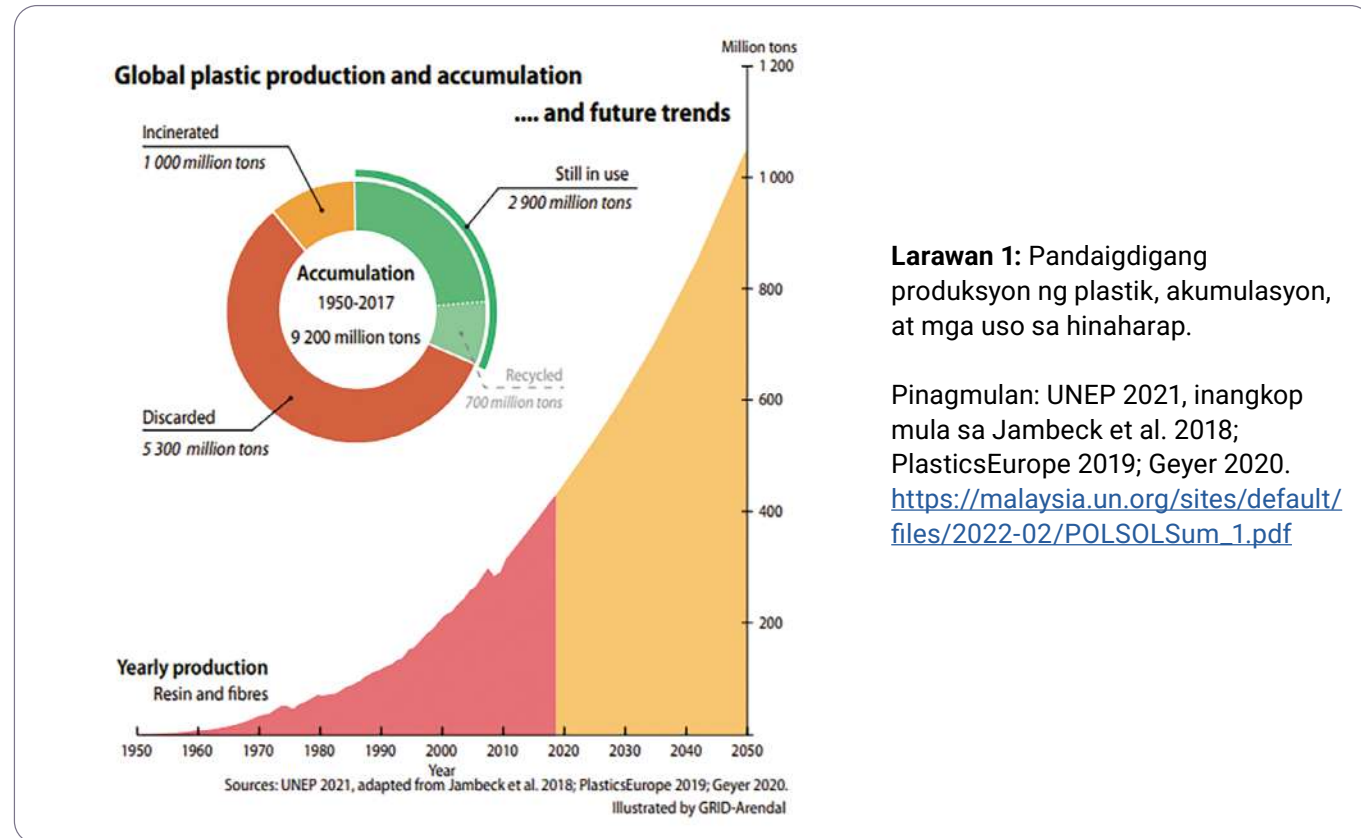
Kaya, ang plastik, dahil sa lakas, kakayahang magamit at mababang gastos, ay naging pangunahing materyal para sa mass production, kabilang ang mga disposable item¹. Ngunit ang hindi magandang pangangasiwa ng mga basurang plastik ay ginawa ang plastik na pinakamahalagang pollutant sa kapaligiran sa mundo.

Dami ng pagtatantya at mga uso ng pandaigdigang produksyon ng basurang plastik

Mula noong 1950s, humigit-kumulang 9.2 bilyong tonelada ng plastik ang ginawa sa buong mundo. Dito, 2.9 bilyong tonelada ang kasalukuyang ginagamit, kabilang ang 2.7 bilyong tonelada ng virgin plastic at humigit-kumulang 0.2 bilyong tonelada ng recycled na materyal. 5.3 bilyong tonelada ang napunta sa mga landfill at 1 bilyong tonelada ang nasunog. Alam din na ang 1.75–2.5 bilyong tonelada ay itinuturing na “maling pamamahala,” ibig sabihin ay maaari silang ilabas sa kapaligiran sa isang hindi nakokontrol na paraan (Larawan 1).

¹Karlsruhe Institute of Technology. Blind spots in the monitoring of plastic waste https://www.kit.edu/kit/english/pi_2022_097_blind-spots-in-the-monitoring-of-plastic-waste.php

Sa ngayon, humigit-kumulang 640 milyong tonelada ng karagdagang mga kemikal ang naidagdag sa mga produktong plastik². Ayon sa UNEP³, mahigit 400 milyong tonelada ng plastic na basura ang nalilikha sa buong mundo bawat taon.



Larawan 1: Pandaigdigang produksyon ng plastik, akumulasyon, at mga uso sa hinaharap.

Pinagmulan: UNEP 2021, inangkop mula sa Jambeck et al. 2018; PlasticsEurope 2019; Geyer 2020. https://malaysia.un.org/sites/default/files/2022-02/POLSOLSum_1.pdf

Humigit-kumulang 9% lamang ng mga basurang plastik ang nire-recycle, 19% ang sinusunog, at ang iba ay nananatili sa kapaligiran, kabilang ang mga landfill at karagatan⁴ (tingnan ang Larawan 2).

Bahagi ng mga paraan ng pagtatapon	Global, 2023
Nire-recycle	9%
Pagsusunog	19%
Maling pagtatapon	22%
Pagtatapon ng basura	49%

Larawan 2: Taunang plastic na basura sa pamamagitan ng paraan ng pagtatapon, Mundo, 2000 hanggang 2023. Pinagmulan: Ang Aming Daigdig sa Data <https://ourworldindata.org/grapher/plastic-fate>

Bawat taon, humigit-kumulang 11 milyong tonelada ng plastik ang pumapasok sa mga karagatan⁵. Katumbas ito ng higit sa isang garbage truck ng plastic na itinatapon sa karagatan bawat minuto.

²Schmidt, C. et al. A multidisciplinary perspective on the role of plastic pollution in the triple planetary crisis. *Environment International* 193, 109059 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.109059>

³United Nations Environment Programme (UNEP) Beat plastic pollution <https://www.unep.org/interactives/beat-plastic-pollution> (Accessed: 1 May 2025)

⁴How Much of the World's Plastic Waste Actually Gets Recycled? <https://www.visualcapitalist.com/how-much-plastic-gets-recycled>

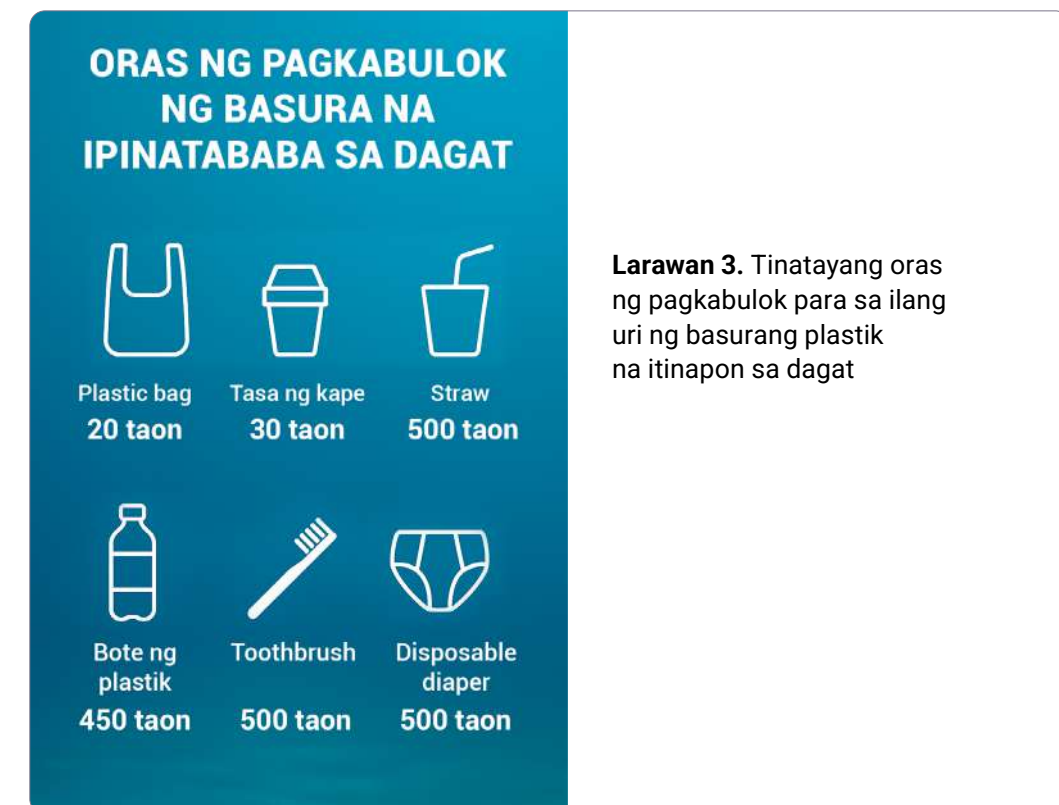
⁵Jenna R. Jambeck et al., Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science* 347, 768-771 (2015). <https://doi.org/10.1126/science.1260352>

Sa kasalukuyan ay mayroong mahigit 200 milyong tonelada ng malalaking basurang plastik at 35,540 tonelada ng microplastics sa mga karagatan⁶. Ang taunang dami ng basurang plastik na inilalabas sa kapaligiran mula sa mga pinagmumulan na nakabase sa lupa ay tinatantya nang iba, depende sa mga pamamaraan ng pagsusuri na ginamit. Sa isang business-as-usual scenario, ang dami ng plastic na basurang pumapasok sa aquatic ecosystem ay maaaring halos triple, mula sa humigit-kumulang 9-14 milyong tonelada bawat taon sa 2016 hanggang 23-37 milyong tonelada bawat taon sa 2040.

Ayon sa isa pang paraan ng pagsusuri, ang dami ng basura ay maaaring higit sa doble, mula sa humigit-kumulang 19-23 milyong tonelada bawat taon sa 2016 hanggang 53 milyong tonelada bawat taon sa 2030⁷.

Ayon sa pananaliksik, kung magpapatuloy ang kasalukuyang uso, sa 2050 magkakaroon ng humigit-kumulang 12,000 milyong tonelada ng plastik⁸ sa karagatan, na maihahambing sa timbang sa buong masa ng isda sa karagatan (mga 10,000 milyong tonelada⁹).

Depende sa uri, ang plastic ay nabubulok mula 100 hanggang 1,000 taon (Larawan 3). Sa karagatan, mas mabagal ang pagkabulok ng plastik, at sa madilim at malamig na kondisyon ng malalim na dagat, mas nababawasan ang rate ng pagkasira nito¹⁰.



Larawan 3. Tinatayang oras ng pagkabulok para sa ilang uri ng basurang plastik na itinatapon sa dagat

⁶Eriksen, M. et al. Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea. *PLoS ONE* 9, e111913 (2014). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111913>

⁷United Nations Environment Programme (2021). From Pollution to Solution: A global assessment of marine litter and plastic pollution. Nairobi. <https://www.unep.org/resources/pollution-solution-global-assessment-marine-litter-and-plastic-pollution>

⁸Geyer, R., Jambeck, J. R. & Law, K. L. Production, use, and fate of all plastics ever made. *Sci. Adv.* 3, e1700782 (2017). <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>

⁹Irigoien, X. et al. Large mesopelagic fishes biomass and trophic efficiency in the open ocean. *Nat Commun* 5, 3271 (2014). <https://doi.org/10.1038/ncomms4271>

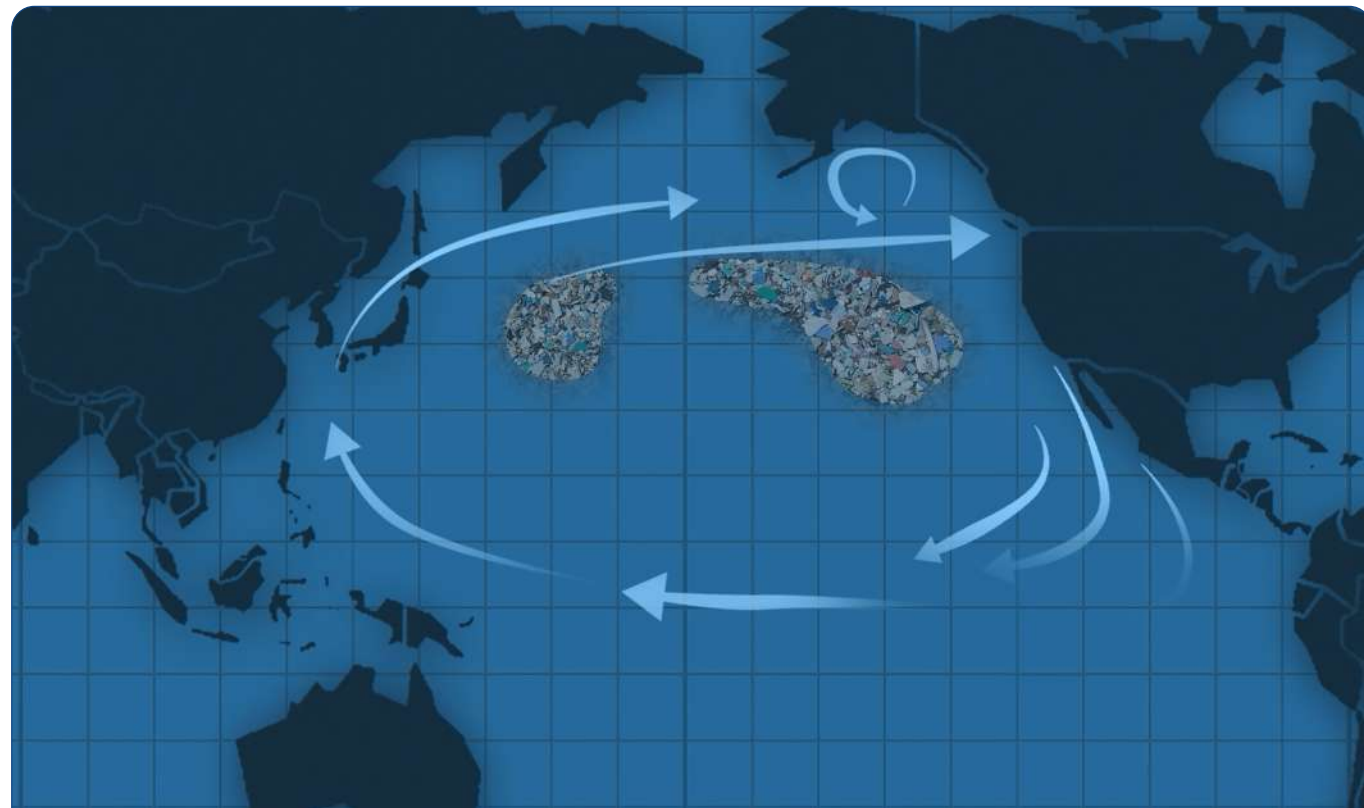
¹⁰Barnes, D. K. A., Galgani, F., Thompson, R. C. & Barlaz, M. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Phil. Trans. R. Soc. B* 364, 1985-1998 (2009). <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0205>

Maliban sa mga materyales na sinunog, ang lahat ng mga kumbensyonal na plastik na nakapasok sa kapaligiran ay nananatiling hindi nabubulok, alinman sa kabuuan o mga pira-piraso¹¹. Ang basurang ito ay halos hindi nawawala, ngunit patuloy na naiipon. Ang sitwasyong ito ay maiihalintulad sa isang lalagyan ng basura na palaging napupuno ng basura ngunit hindi naaalis. Ang tanong kung ano ang mangyayari sa naturang lalagyan sa isang buwan ay naglalarawan ng laki ng problema ng pandaigdigang pag-iipon ng basurang plastik.

Ang Great Pacific Garbage Patch

Ang mga plastik na basura sa loob at sa ibabaw ng tubig ay nakukuha ng mga agos ng karagatan, dinadala sa gitnang mga rehiyon ng karagatan, at bumubuo ng malalawak na akumulasyon na tinatawag na “mga isla.”

Ang Great Pacific Garbage Patch ay ang pinakamalaking konsentrasyon ng plastic sa planeta at patuloy na lumalaki (Larawan 4). Ang Great Pacific Garbage Patch ay sumasaklaw sa isang malawak na lugar sa pagitan ng North America at Japan. Noong 2018, ito ay sinusukat na humigit-kumulang 1.6 milyong kilometro¹² kuwadrado, bagama’t ito ay nag-iiba



Larawan 4. Schematic na proseso ng pagbuo ng garbage patch sa Karagatang Pasipiko

¹¹Barnes, D. K. A., Galgani, F., Thompson, R. C. & Barlaz, M. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Phil. Trans. R. Soc. B* 364, 1985–1998 (2009). <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0205>

¹²Lebreton, L., Slat, B., Ferrari, F. et al. Evidence that the Great Pacific Garbage Patch is rapidly accumulating plastic. *Sci Rep* 8, 4666 (2018). <https://doi.org/10.1038/s41598-018-22939-w>

Ipinakikita ng pananaliksik na hanggang 80%¹³ ng mga nilalaman ng basurahan ay mga basurang plastik¹⁴. Ang garbage patch ay naglalaman ng hindi bababa sa 80,000 tonelada ng basura¹⁵. Gayunpaman, ito lamang ang nakikitang bahagi ng problema. Hanggang sa 94% ng plastic na napupunta sa karagatan ay napupunta sa seabed¹⁶. Dito maaaring magtago at maipon ang malaking dami ng basura.

Ang eksaktong sukat ng Great Pacific Garbage Patch ay nananatiling hindi alam dahil ang North Pacific Subtropical Gyre ay masyadong malaki upang ganap na pag-aralan ayon sa siyensya na may kasalukuyang mga kakayahan sa teknolohiya.

Dynamics ng plastic accumulation sa karagatan

Ang mga instrumental na pagsukat ay nagpapakita ng exponential na pagtaas sa dami ng Great Garbage Patch. Sa pagitan ng 2015 at 2022, ang average na masa ng basurang plastik sa lugar na ito ay tumaas ng 5 beses¹⁷. Ang partikular na pag-aalala ay ang katotohanan na ang bilang ng mga maliliit na fragment ng plastik ay tumaas ng 10 beses sa parehong panahon, na nagpapahiwatig ng isang masinsinang proseso ng pagkapira-piraso ng mga malalaking bagay na plastik.

Ang Great Garbage Patch ay aktwal na bumubuo sa ikapitong “kontinente” ng ating planeta. Gayunpaman, mahalagang tandaan na ang hindi pangkaraniwang bagay na ito ay hindi natatangi. Sa kasalukuyan, natukoy ng siyentipikong komunidad ang 5 malalaking akumulasyon ng basura sa Karagatang Pandaigdig¹⁸: dalawa sa Karagatang Atlantiko, dalawa sa Karagatang Pasipiko, at isa sa Karagatang Indian¹⁹ (Larawan 5).

¹³Derraik, J. G. B. The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. *Marine Pollution Bulletin* 44, 842–852 (2002). [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(02\)00220-5](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(02)00220-5)

¹⁴Morishige, C., Donohue, M. J., Flint, E., Swenson, C. & Woolaway, C. Factors affecting marine debris deposition at French Frigate Shoals, Northwestern Hawaiian Islands Marine National Monument, 1990–2006. *Marine Pollution Bulletin* 54, 1162–1169 (2007). <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2007.04.014>

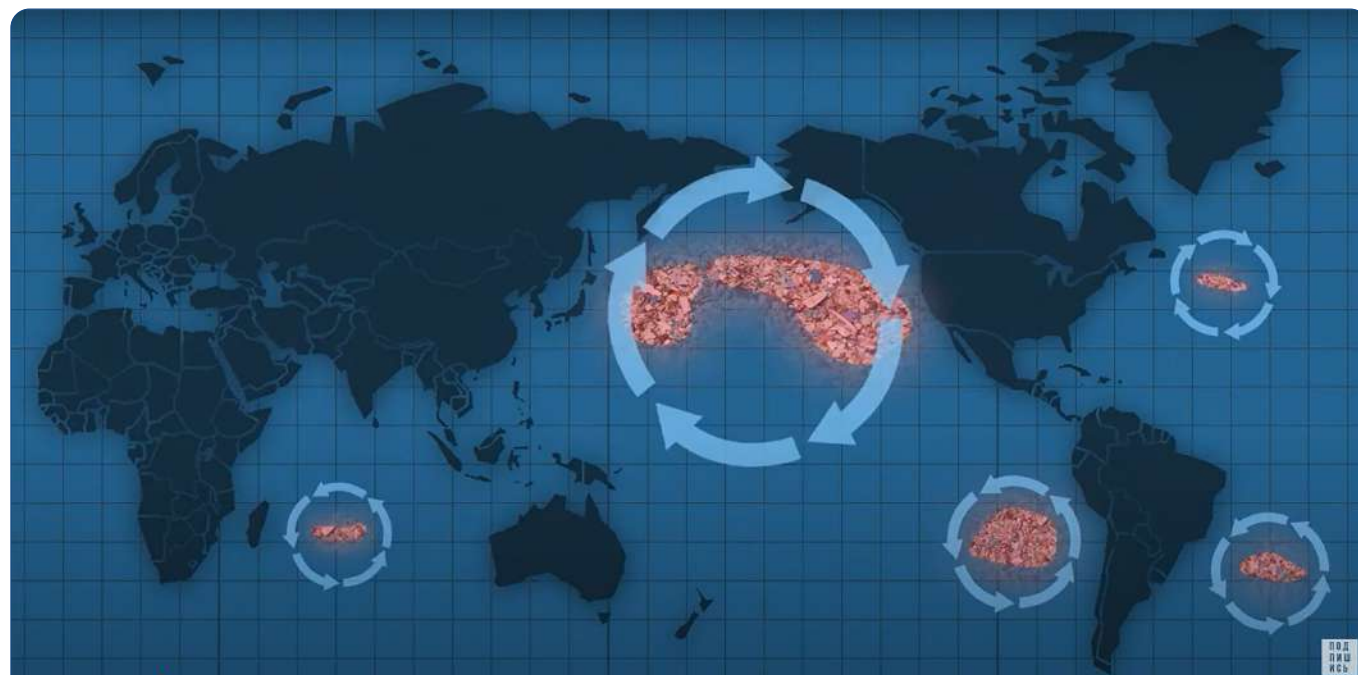
¹⁵Lebreton, L., Slat, B., Ferrari, F. et al. Evidence that the Great Pacific Garbage Patch is rapidly accumulating plastic. *Sci Rep* 8, 4666 (2018). <https://doi.org/10.1038/s41598-018-22939-w>

¹⁶Eunomia. *Plastics in the Marine Environment*. <https://eunomia.eco/reports/plastics-in-the-marine-environment>

¹⁷Lebreton, L. et al. Seven years into the North Pacific garbage patch: legacy plastic fragments rising disproportionately faster than larger floating objects. *Environ. Res. Lett.* 19, 124054 (2024). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ad78ed>

¹⁸Van Sebille, E., England, M. H. & Froyland, G. Origin, dynamics and evolution of ocean garbage patches from observed surface drifters. *Environ. Res. Lett.* 7, 044040 (2012). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/7/4/044040>

¹⁹Garbage Patches. Marine Debris Program. NOAA <https://marinedebris.noaa.gov/discover-marine-debris/garbage-patches>



Larawan 5. Schematic na representasyon ng limang malalaking akumulasyon ng basura sa World Ocean: dalawa sa Atlantic Ocean, dalawa sa Pacific Ocean at isa sa Indian Ocean. Milyun-milyong toneladang plastik at iba pang basura na anthropogenic na pinagmulan ang kumakalat sa mga karagatan. Ang mga basurahan ay lumalaki sa isang sakuna na bilis

Mga proseso ng pagbuo ng micro- at nanoparticle ng plastic

Ang mga plastik na basura ay napaka-lumalaban sa biodegradation, ngunit sa ilalim ng impluwensya ng mga alon, tubig-alat at solar radiation ay nasira ito sa maliliit na particle - micro- at nanoplastics²⁰, na maaaring hindi nakikita ng mata. Ang mga particle na ito ay nagpapanatili ng kanilang istruktura ng polimer²¹, at ang proseso ng agnas ay nagpapatuloy hanggang sa antas ng nano (Mga Larawan 6-7). Bilang resulta, ang mga basurang plastik ay nagiging permanenteng bahagi ng ecosystem ng planeta.

Bilang karagdagan, ang micro- at nanoplastics ay naglalaman ng mga mapanganib na kemikal na idinagdag sa panahon ng proseso ng paggawa ng plastik.

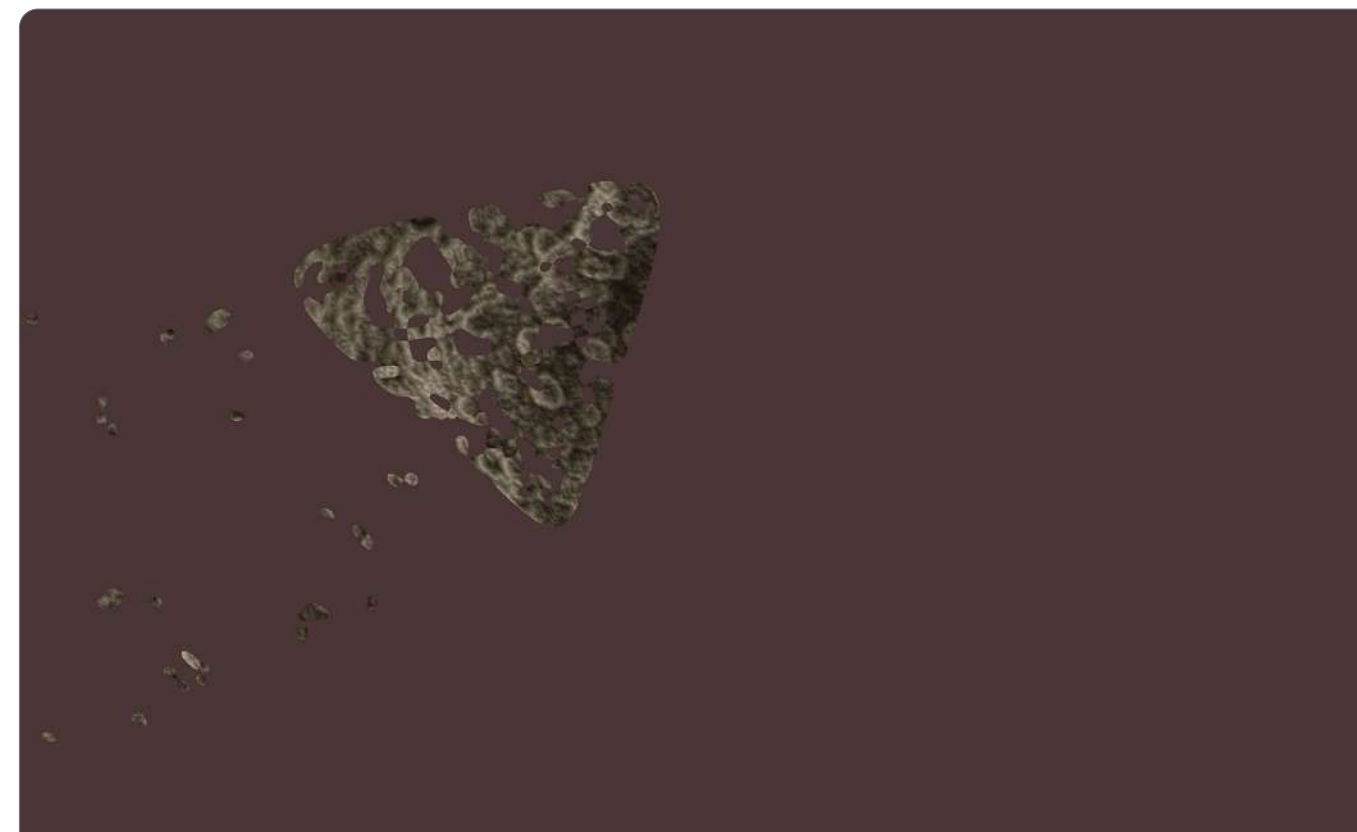


“Ang plastik ay naglalaman ng humigit-kumulang 16,000 na kemikal. Mahigit sa 4,200 sa mga ito ang kilala na patuloy sa kapaligiran, naipon sa mga buhay na organismo, dinadala sa malalayong distansya o nagdudulot ng potensyal na panganib,” sabi ni Propesor Annika Janke, isang chemist sa kapaligiran Helmholtz sentro para sa pananaliksik sa kapaligiran²².

²⁰Yu, R.-S. & Singh, S. Microplastic Pollution: Threats and Impacts on Global Marine Ecosystems. Sustainability 15, 13252 (2023). <https://doi.org/10.3390/su151713252>

²¹Barnes, D. K. A., Galgani, F., Thompson, R. C. & Barlaz, M. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. Phil. Trans. R. Soc. B 364, 1985–1998 (2009). <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0205>

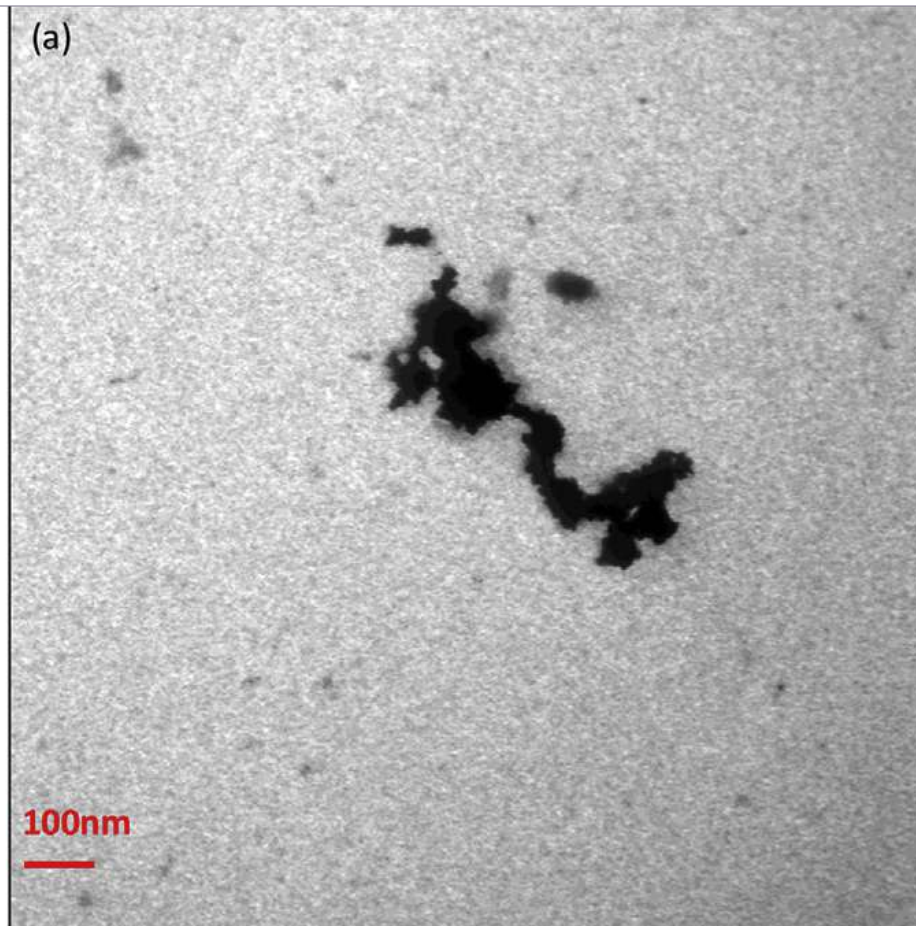
²²Helmholtz Centre for Environmental Research - UFZ. Environmental Impacts of Plastics: Moving beyond the perspective on waste. https://www.ufz.de/index.php?en=36336&webc_pm=44/2024



Larawan 6. Schematic na representasyon ng proseso ng fragmentation ng mga plastic particle sa antas ng nano habang pinapanatili ang polymer structure

Larawan 7. Transmission electron microscopy ng environmental polyethylene nanoplastics na ginawa ng UV degradation ng mga lumang microplastic particle na nakolekta mula sa karagatan ng hilagang atlantic.

Pinagmulan: Gigault, J. et al. Kasalukuyang opinyon: Ano ang isang nanoplastic? Polusyon sa Kapaligiran 235, 1030–1034 (2018). <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.01.024>



Pamamahagi ng mga MNP sa karagatan

Ang pinakamataas na konsentrasyon ng plastic ay matatagpuan sa mga basurahan. Ang mga tambakan ng karagatan na ito ay kumikilos bilang mga pabrika kung saan ang mga micro- at nanoplastics ay patuloy na nililikha. Kung paanong ang isang virus ay kumakalat sa katawan sa pamamagitan ng dugo, ang microplastics ay dinadala ng mga alon ng karagatan sa buong karagatan ng mundo, na nagbibigay-diin sa pandaigdigang sukat ng problema.

Sa kabila ng mga teknikal na paghihirap sa pag-detect ng microplastics, na nagpapahirap sa tumpak na pagtukoy ng kanilang dami sa mga karagatan, ang mga teoretikal na kalkulasyon ay nagpapahintulot sa amin na tantyahan ang laki ng problema.

Ang mga microplastics ay nakita sa halos lahat ng mga sample ng tubig sa karagatan, at sa ilang mga rehiyon, ang kanilang mga konsentrasyon ay sampu-sampung beses na mas mataas kaysa sa karaniwan.

Pinapadali ng Ocean gyre ang pandaigdigang pamamahagi ng microplastics, kabilang ang mga malalayong rehiyon tulad ng Arctic. Ipinakita ng mga pag-aaral sa core ng yelo na ang mga antas ng microplastic na polusyon sa Arctic Ocean ay 100 beses na mas mataas kaysa sa tubig ng Atlantiko sa hilaga ng Scotland o sa North Pacific Subtropical Gyre²³. Ipinapakita nito ang laki ng problema at ang likas na transboundary nito.

Karamihan sa mga pandaigdigang pag-aaral ng marine plastic pollution ay nakatuon sa ibabaw na layer ng karagatan. Noong 2019, tinatayang nasa pagitan ng 82 at 358 trilyong plastic na particle ang nasa ibabaw na layer ng karagatan²⁴.

Gayunpaman, may lumalagong ebidensya na sa malalim na dagat at sa mga sediment, ang bilang ng mga microplastic na particle ay umaabot sa hindi mabilang na trilyon²⁵.

Ang magaan na plastik ay lumulutang sa ibabaw, habang ang mas siksik na plastik o na kolonisado ng biota ay lumulubog sa seabed²⁶. Ipinapakita ng mga pagtatantya na humigit-kumulang 50% ng plastic mula sa urban waste ay may density na mas mataas kaysa sa tubig-dagat, na tumutulong sa mabilis na paglubog nito. Sa ibaba, ito ay kumakalat sa pamamagitan ng malalim na agos ng dagat, na naipon sa mga labangan at mga lubak. Ang mga microplastics ay natagpuan pa nga sa pinakamalalim na punto ng karagatan, ang Mariana Trench²⁷ (Mga Larawan 8–9).

²³Obbard, R. W. et al. Global warming releases microplastic legacy frozen in Arctic Sea ice. *Earth's Future* 2, 315–320 (2014).

<https://doi.org/10.1002/2014EF000240>

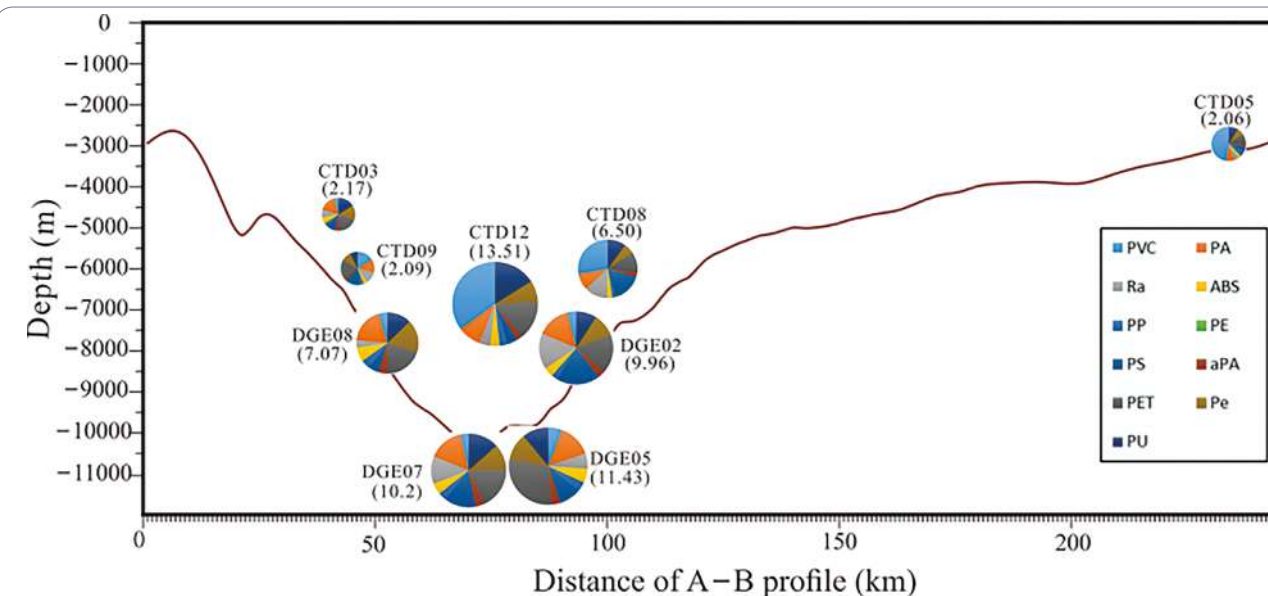
²⁴Eriksen, M. et al. A growing plastic smog, now estimated to be over 170 trillion plastic particles afloat in the world's oceans—Urgent solutions required. *PLoS ONE* 18, e0281596 (2023). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0281596>

²⁵Eunomia. *Plastics in the Marine Environment*. <https://eunomia.eco/reports/plastics-in-the-marine-environment>

²⁶Lusher, A. (2015). *Microplastics in the Marine Environment: Distribution, Interactions and Effects*. In: Bergmann, M., Gutow, L., Klages, M. (eds) *Marine Anthropogenic Litter*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3_10

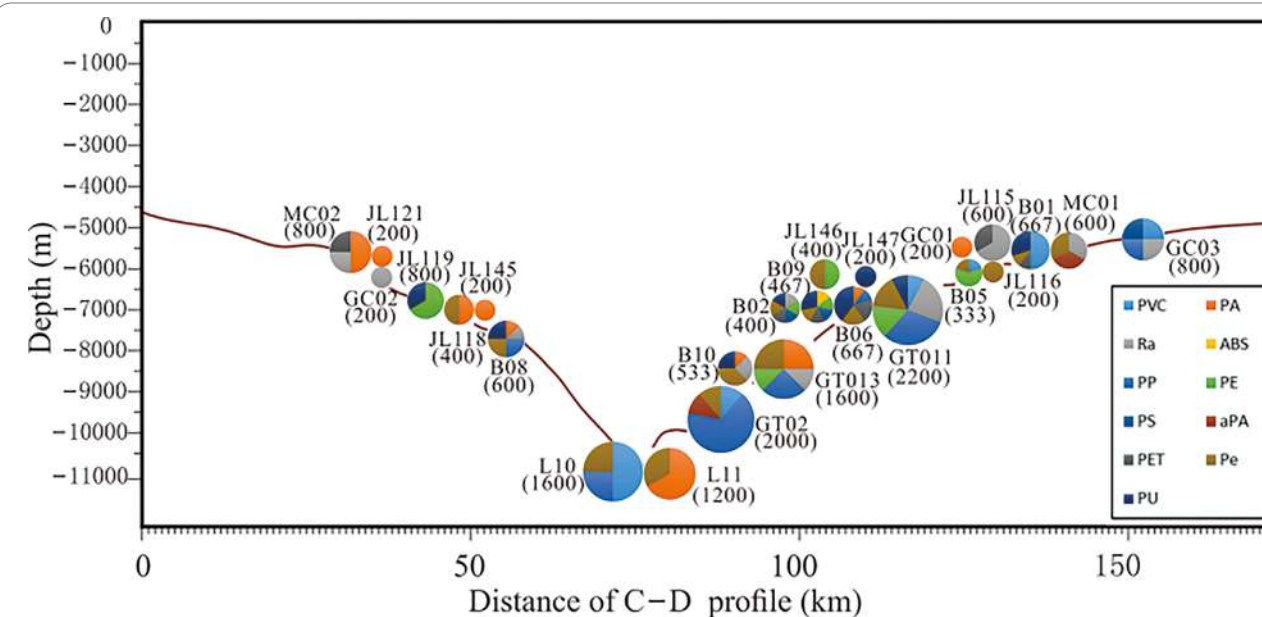
²⁷Peng, X. et al. Microplastics contaminate the deepest part of the world's ocean. *Geochem. Persp. Let.* 9, 1–5 (2018).

<https://doi.org/10.7185/geochemlet.1829>



Larawan 8: Profile ng kasaganaan ng microplastic, at komposisyon sa mga sample ng tubig mula sa Mariana Trench. Ang mga pie chart ay kumakatawan sa mga microplastic na komposisyon at ang mga numero sa bracket ay ang kasaganaan ng microplastics na may mga yunit ng piraso bawat litro. PVC-polyvinyl chloride, PA-polyamide, Ra-rayon, ABS-acrylonitrile butadiene styrene, PP-polypropylene, PE-polyethylene, PS-polystyrene, aPA-aromatic polyamide, PET-polyethylene terephthalate, Pe-polyester, PU-polyurethane. Ang X-axis ay tumutugma sa crossline mula sa punto A (12 °N, 142.5 °E) hanggang sa punto B (9.8 °N, 141.43 °E).

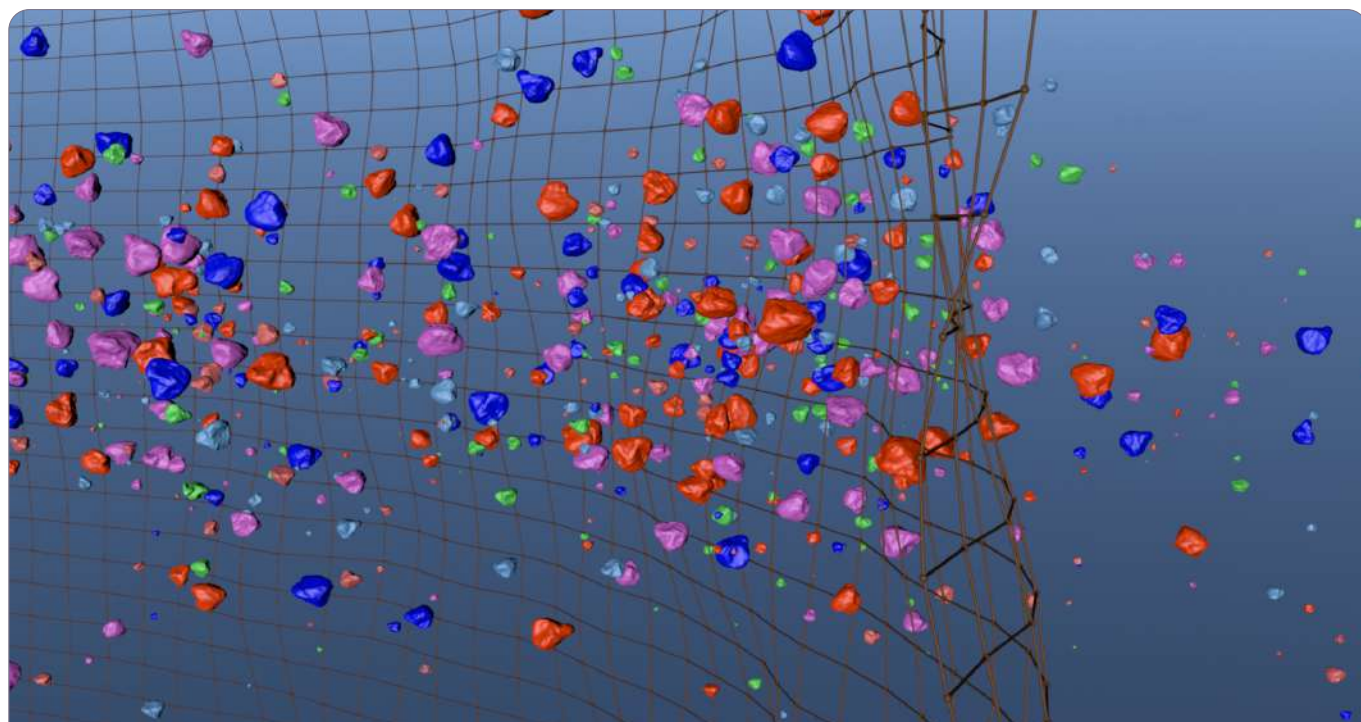
Pinagmulan: Peng, X. et al. Ang mga microplastics ay nakakahawa sa pinakamalalim na bahagi ng karagatan sa mundo. *Geochem. Persp. Hayaan*. 9, 1–5 (2018). <https://doi.org/10.7185/geochemlet.1829>



Larawan 9. Profile ng kasaganaan ng microplastic at profile ng komposisyon sa mga sample ng sediment mula sa Mariana Trench. Ang mga pie chart ay kumakatawan sa mga microplastic na komposisyon at ang mga numero sa panaklong ay kumakatawan sa kasaganaan ng microplastic sa mga piraso bawat litro. PVC (polyvinyl chloride), PA (polyamide), Ra (viscose), ABS (acrylonitrile butadiene styrene), PP (polypropylene), PE (polyethylene), PS (polystyrene), APA (aromatic polyamide), PET (polyethylene terephthalate), PE (polyester), PU (polyurethane). Ang X-axis ay tumutugma sa transverse na linya mula sa punto C (12 N, 141.9 E) hanggang sa punto D (10.5 N, 141.3 E).

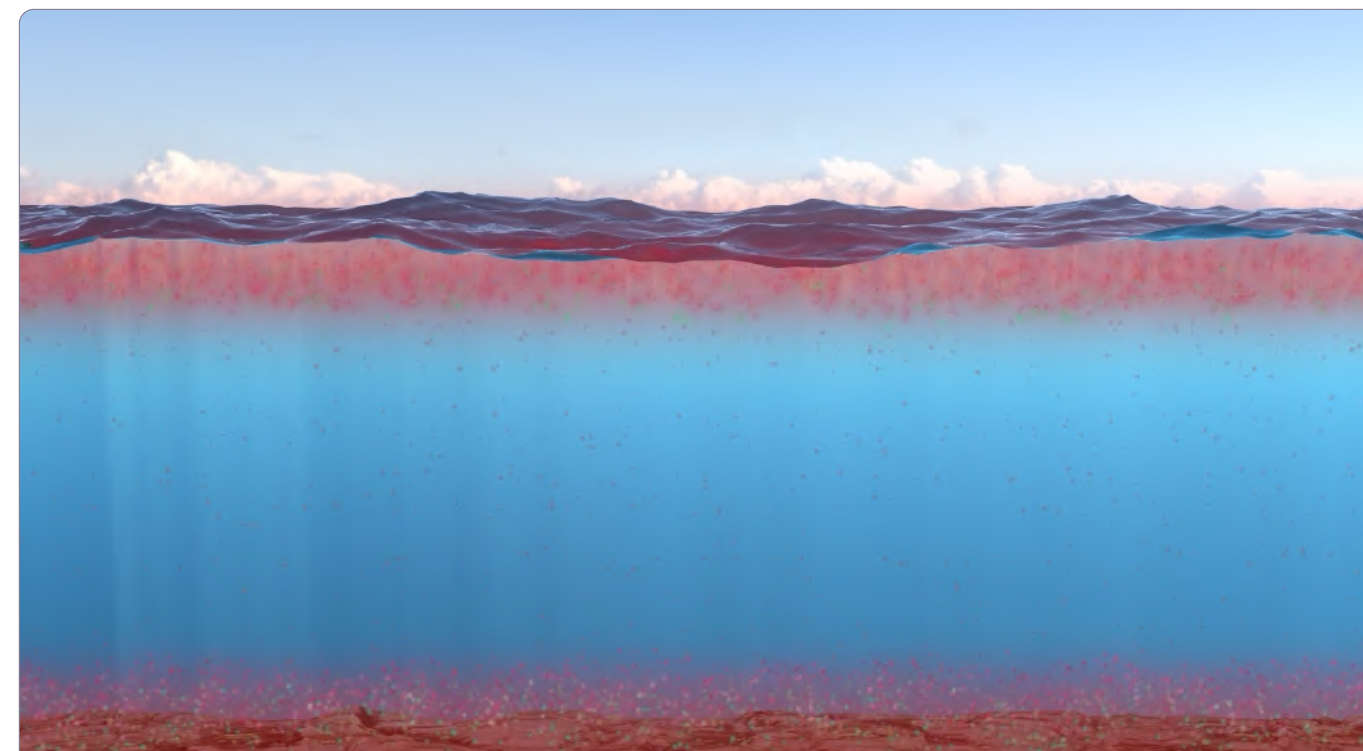
Pinagmulan: Peng, X. et al. Ang Microplastics ay Nakakahawa sa Pinakamalalim na Bahagi Ng Karagatan Sa Mundo *Geochem. Persp. Let.* 9, 1–5 (2018). <https://doi.org/10.7185/geochemlet.1829>

Sa katunayan, ang pangunahing lugar ng akumulasyon ng microplastics ay hindi ang ibabaw ng karagatan, ngunit ang malalim na seabed. Unti-unti, natatakpan ng plastic ang buong sahig ng karagatan. Gayunpaman, ang data sa microplastic na polusyon sa karagatan ay malamang na minamaliit, at ang totoong sitwasyon ay maaaring mas masahol pa. Gaya ng sabi ni Melanie Bergmann, isang biyologo si Alfred Wegener instituto para sa polar at pananaliksik sa dagat (Germany): “Hindi lahat ay may access sa sopistikado at mamahaling sampling equipment.” Tinatantya niya na hanggang sa 90% ng mga marine microplastic particle ay maaaring manatiling hindi natukoy gamit ang mga karaniwang pamamaraan ng sampling dahil ang kanilang sukat ay masyadong maliit upang matukoy²⁸ (Larawan 10).

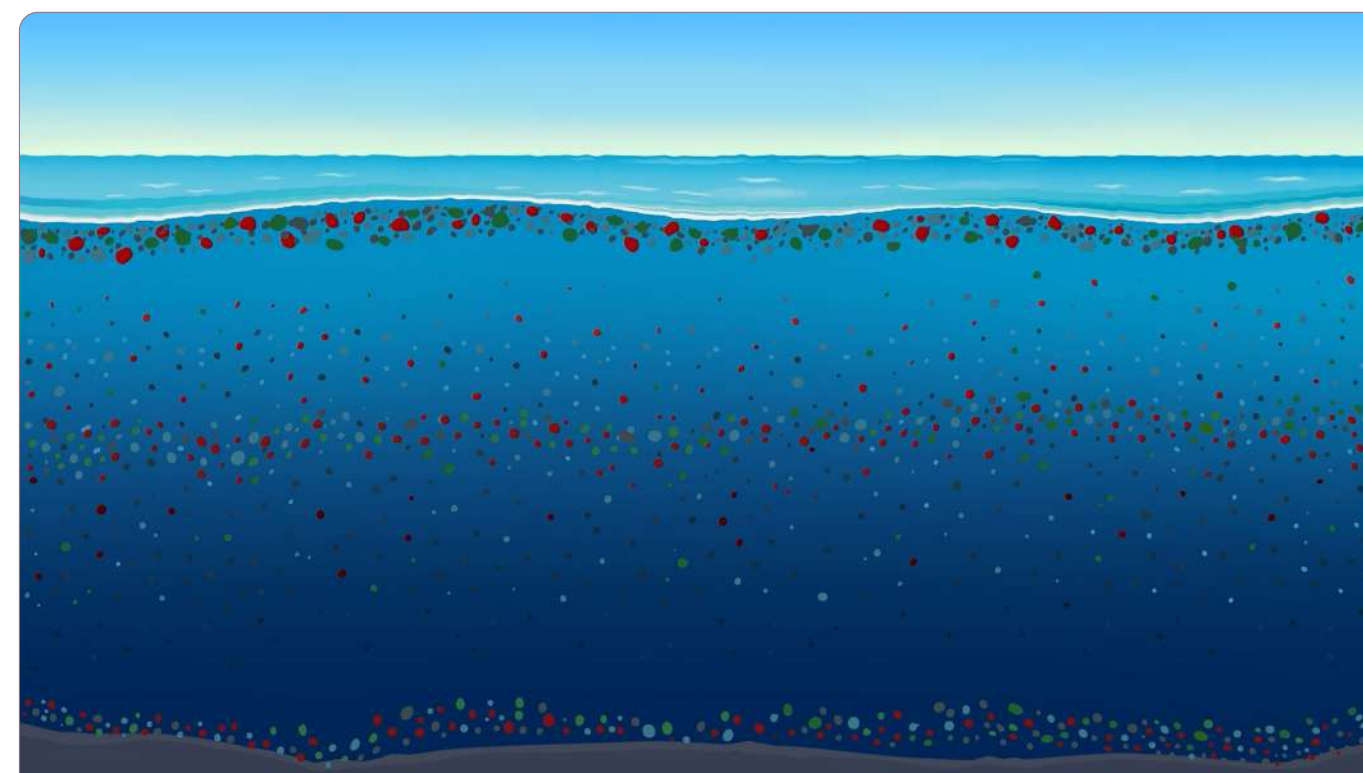


Larawan 10. Schematic na representasyon ng hindi perpektong analytical na pamamaraan para sa pagkuha ng micro- at nanoplastics

²⁸Microplastics pose risk to ocean plankton, climate, other key Earth systems. Mongabay. <https://news.mongabay.com/2023/10/microplastics-pose-risk-to-ocean-plankton-climate-other-key-earth-systems>



Larawan 11. Schematic na representasyon ng ibabaw at ilalim na mga layer ng kontaminasyon na may micro- at nanoplastics

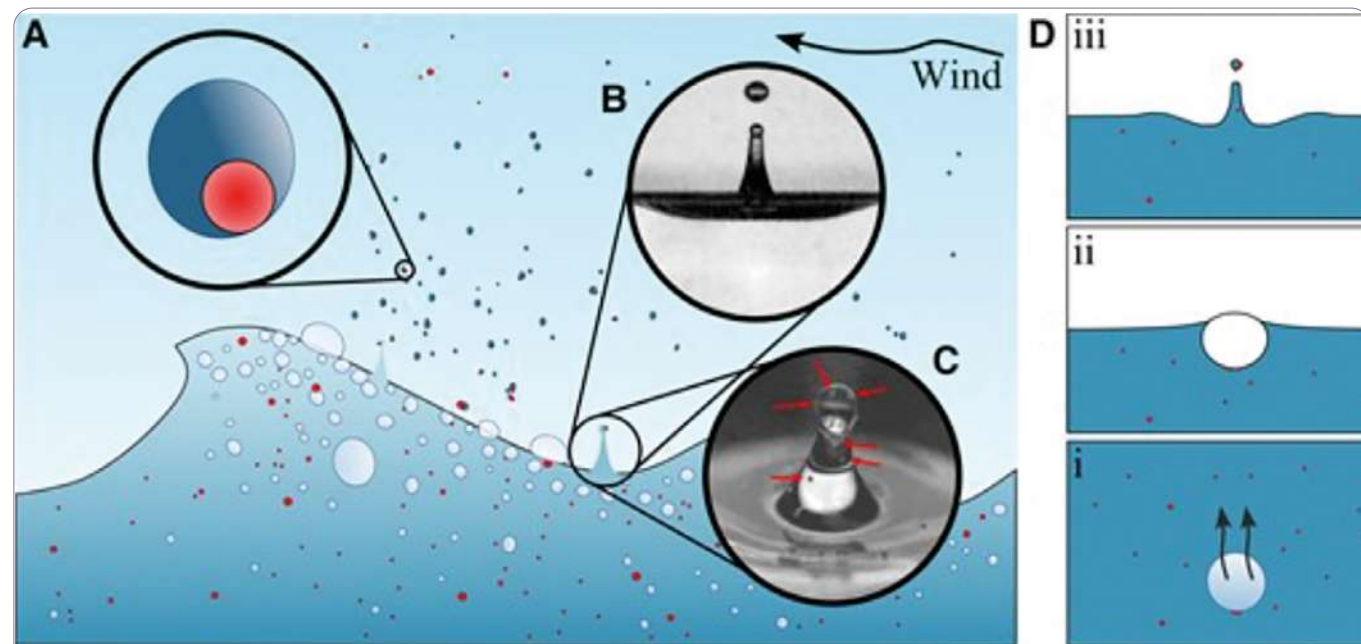


Larawan 12. Schematic na representasyon ng lokasyon ng micro- at nanoplastics sa ibabaw, ilalim na layer at thermocline zone

Bilang karagdagan sa ibabaw at ilalim na mga layer ng polusyon (Larawan 11), ang konsentrasyon ng micro- at nanoplastics ay tumataas nang malaki sa thermocline²⁹ (Larawan 12), isang layer ng tubig kung saan mayroong matinding pagbabago sa temperatura. Ang mataas na densidad ng gradient sa layer na ito ay nag-aambag sa katotohanan na ang mga micro- at nanoplastic na particle ay pinanatili sa mga zone na ito at nananatili doon nang mahabang panahon. Ang karagatan ay maaaring isipin bilang isang layer cake, kung saan ang bawat layer ay may natatanging temperatura at densidad, at ang mga microplastics ay naipon sa mga hangganan sa pagitan ng mga layer na ito.

Bilang karagdagan, ang microplastics ay ipinamamahagi sa karagatan sa pamamagitan ng mga buhay na organismo na sumisipsip, natutunaw at naglalabas ng mga ito³⁰.

Pamamahagi ng mga MNP sa kapaligiran



Larawan 13. Ilustrasyon ng mga nauugnay na proseso na kasangkot sa pagpapalabas ng microplastics mula sa karagatan. A) Ang mga microplastics (pula/mas madidilim) sa karagatan ay dinadala sa atmospera sa pamamagitan ng mga patak ng tubig-dagat. B) Ang mga sumasabog na bula ay lumilikha ng maliliit na droplet o aerosol tulad ng jet droplets. C) Ang mga microplastics na naroroon sa likido ay maaaring dalhin sa mga nagresultang jet droplet. Ang mga arrow ay nagpapahiwatig ng mga microplastic na particle na 100 µm ang laki. Ang mga resultang maliit na patak ay maaaring kunin ng hangin at dalhin ang microplastic material sa atmospera. Ang likido sa kalaunan ay sumingaw, na iniwan ang mga microplastic na particle. D) Ang mga nauugnay na pisikal na proseso na kasangkot sa pagpapakawala ng microplastics sa pamamagitan ng pagsabog ng bula ay nagsisimula sa pagkakakulong ng mga particle habang tumataas ang bubble. Di). Matapos maabot ang ibabaw ng Dii), ang bula sa kalaunan ay nagkakaroon ng equilibrium na hugis, na sa pagsabog ay nakatutok ang mga capillary wave sa base nito, na bumubuo ng mga jet droplet na Diii), na nagdadala ng microplastic na materyal.

Pinagmulan: Shaw, D. B., Li, Q., Nunes, J. K. & Deike, L. Paglabas ng Microplastics sa Karagatan. PNAS Nexus 2, pgad296 (2023). <https://doi.org/10.1093/pnasnexus/pgad296>

²⁹Tikhonova, D. A., Karetnikov, S. G., Ivanova, E. V. & Shalunova, E. P. The Vertical Distribution of Microplastics in the Water Column of Lake Ladoga. Water Resour 51, 146–153 (2024). <https://doi.org/10.1134/S009780782370063X>

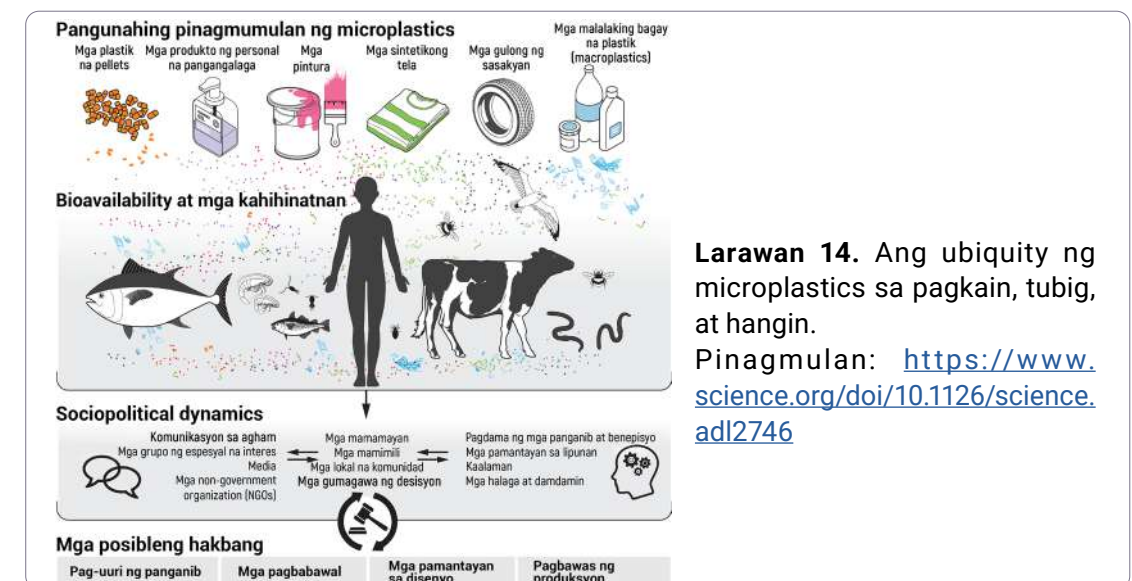
³⁰Dawson, A. L. et al. Turning microplastics into nanoplastics through digestive fragmentation by Antarctic krill. Nat Commun 9, 1001 (2018). <https://doi.org/10.1038/s41467-018-03465-9>

Kapag sumingaw ang tubig³¹, tumataas ang microplastics sa atmospera mula sa ibabaw ng karagatan³². Gayundin, ang kumbinasyon ng spray ng dagat, hangin, at alon ay lumilikha ng mga bula ng hangin sa tubig na naglalaman ng microplastics. Kapag ang mga bula ay sumabog, ang mga particle ay inilabas sa atmospera (Larawan 13). Bawat taon, humigit-kumulang 136,000 tonelada ng microplastics³³ ang dinadala ng simoy ng dagat sa mga baybayin lamang. At hanggang 25 milyong metrikong tonelada ng micro- at nanoplastics ang dinadala libu-libong kilometro bawat taon sa pamamagitan ng hanging dagat, spray, snow, at fog, tumatawid sa mga bansa, kontinente, at karagatan.



“Ang hangin ay isang mas dynamic na daluyan kaysa sa tubig. Bilang resulta, ang micro- at nanoplastics ay maaaring tumagos nang mas mabilis sa mga rehiyon ng ating planeta na pinakamalayo at hindi pa rin nagalaw,” sabi ni Dr. Melanie Bergmann, isang biologist sa Alfred Wegener Instituto sa Germany. Kapag naroon na, ang mga particle ay maaaring makaapekto sa klima sa ibabaw at sa kalusugan ng mga lokal na ecosystem³⁴.

Natagpuan ang microplastics sa iba't ibang lokasyon, mula sa ibabaw ng dagat hanggang sa malalim na sediment ng dagat, mula sa mga lupang pang-agrikultura hanggang sa ating pinakamataas na bundok, gayundin sa yelo sa dagat, lawa at ilog. Natukoy ang mga ito sa 1,300 aquatic at terrestrial species, mula sa mga invertebrate sa base ng food chain hanggang sa nangungunang mga mandaragit, na may ebidensya ng mga epekto sa lahat ng antas ng biological na organisasyon, mula sa cellular hanggang sa ecosystem. Ang microplastics ay laganap sa pagkain na ating kinakain, ang tubig na ating iniinom at ang hangin na ating nilalanghap (Larawan 14). Natagpuan ang mga ito sa maraming mga tisyu at organo ng katawan ng tao, at lumalabas ang ebidensya ng kanilang mga negatibong epekto³⁵.



Larawan 14. Ang ubiquity ng microplastics sa pagkain, tubig, at hangin.
Pinagmulan: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.adl2746>

³¹Shaw, D. B., Li, Q., Nunes, J. K. & Deike, L. Ocean emission of microplastic. PNAS Nexus 2, pgad296 (2023). <https://doi.org/10.1093/pnasnexus/pgad296>

³²Deike, L., Reichl, B. G. & Paulot, F. A Mechanistic Sea Spray Generation Function Based on the Sea State and the Physics of Bubble Bursting. AGU Advances 3, e2022AV000750 (2022). <https://doi.org/10.1029/2022AV000750>

³³Allen, S. et al. Examination of the ocean as a source for atmospheric microplastics. PLoS ONE 15, e0232746 (2020). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232746>

³⁴Alfred Wegener Institute, Helmholtz Centre for Polar and Marine Research. Micro- and nanoplastic from the atmosphere is polluting the ocean. <https://www.awi.de/en/about-us/service/press/single-view/mikro-und-nanoplastik-aus-der-atmosphaere-belastet-meere.html>

³⁵Thompson, R. C. et al. Twenty years of microplastic pollution research—what have we learned? Science 386, eadl2746 (2024). <https://doi.org/10.1126/science.adl2746>

Kaya, ang transportasyon sa malayo at maging sa mga polar na rehiyon ay maaaring dahil sa kumbinasyon ng atmospheric at marine transport. Samakatuwid, mahalagang maunawaan ang mga pakikipag-ugnayan sa pagitan ng atmospera at karagatan upang matukoy kung anong mga sukat ng butil ang dinadala at kung anong dami.

Halimbawa, kamakailang natagpuan ng isang pangkat ng mga mananaliksik ang mga plastic pellets sa mga ulap sa tuktok ng bundok sa Japan, na mayroong hydrophilic (nakakaakit ng tubig) na ibabaw³⁶. Pagkatapos ay sinuri nila ang mga sample at napagpasyahan na ang mas mababang altitude at mas siksik na ulap ay naglalaman ng mas mataas na halaga ng microplastics. Ang pagkakaroon ng mga polymer bilang condensation nuclei ay gumaganap ng isang mahalagang papel sa mabilis na pagbuo ng mga ulap, na maaaring makaapekto sa pangkalahatang klima³⁶.

Ang mga plastik na particle sa mga ulap ay nakakatulong sa paghawak ng mas maraming tubig, na nagpapaantala sa pag-ulan. Kapag bumuhos ang ulan, lumalakas ito dahil mas maraming tubig ang naipon sa mga ulap. Bilang karagdagan, ang mga microplastics na nakalantad sa ultraviolet light at na-filter na tubig sa ulap ay may mas magaspang na ibabaw, na nagpo-promote ng akumulasyon ng mas maraming lead, mercury at mga pangkat na naglalaman ng oxygen sa kanilang mga ibabaw³⁷.

Pangunahing dinadala ng atmospera ang maliliit na microplastic na particle, na ginagawa itong mas mabilis na ruta ng transportasyon na maaaring humantong sa makabuluhang deposition sa malawak na hanay ng mga ecosystem. Ipinakikita ng pananaliksik na ang mga kagubatan ay nagsisilbing hadlang sa mga microplastics na tinatangay ng hangin. Ang mga dahon, sanga, at putot ay nakakabit ng mga microplastics na naninirahan sa kanilang mga ibabaw. Nagreresulta ito sa mga microplastics na tinatangay ng hangin na pinapanatili ng mga halaman o idineposito sa lupa.

Ang limitadong bentilasyon sa ilalim ng makakapal na mga canopy ng kagubatan ay nag-aambag sa patuloy na akumulasyon ng mga particle na ito sa mga kagubatan na lugar. Ang mga dahon ng canopy ay nagsisilbing isang pangmatagalang reservoir para sa airborne microplastics³⁸. Ipinakita ng pananaliksik na mula taglagas 2017 hanggang tag-init 2019, mahigit 1,000 toneladang plastic na particle ang bumagsak sa ulan sa 11 pambansang parke at preserba sa kanlurang Estados Unidos. Ang halagang ito ay sapat na upang makagawa ng 120 milyong plastik na bote³⁹. Ang mga katulad na sitwasyon ay sinusunod sa ibang mga rehiyon ng mundo. Halimbawa, ang mga serrated oak (*Quercus serrata*) na kagubatan sa Japan, na sumasaklaw sa isang lugar na humigit-kumulang 32,500 km², ay nakakakuha ng humigit-kumulang 420 trilyon na airborne microplastic particle sa kanilang mga canopy bawat taon⁴⁰.

³⁶Wang, Y., Okochi, H., Tani, Y. et al. Airborne hydrophilic microplastics in cloud water at high altitudes and their role in cloud formation. *Environ Chem Lett* 21, 3055–3062 (2023). <https://doi.org/10.1007/s10311-023-01626-x>

³⁷Busse, H. L., Ariyasena, D. D., Orris, J. & Freedman, M. A. Pristine and Aged Microplastics Can Nucleate Ice through Immersion Freezing. *ACS EST Air* 1, 1579–1588 (2024). <https://doi.org/10.1021/acsestair.4c00146>

³⁸Sunaga, N., Okochi, H., Niida, Y. et al. Alkaline extraction yields a higher number of microplastics in forest canopy leaves: implication for microplastic storage. *Environ Chem Lett* 22, 1599–1606 (2024). <https://doi.org/10.1007/s10311-024-01725-3>

³⁹Brahney, J., Hallerud, M., Heim, E., Hahnenberger, M. & Sukumaran, S. Plastic rain in protected areas of the United States. *Science* 368, 1257–1260 (2020). <https://doi.org/10.1126/science.aaz5819>

⁴⁰Sunaga, N., Okochi, H., Niida, Y. & Miyazaki, A. Alkaline extraction yields a higher number of microplastics in forest canopy leaves: implication for microplastic storage. *Environ Chem Lett* 22, 1599–1606 (2024). <https://doi.org/10.1007/s10311-024-01725-3>

Hindi tulad ng mga kagubatan, sa mga lungsod, dahil sa magandang bentilasyon at pagkakaroon ng mas mabibigat na particulate matter mula sa tambutso ng kotse at industriyal na smog, ang ilang micro- at nanoplastics ay tumira. Ngayon, ang hangin sa kagubatan ay mas puspos ng nanoplastics kaysa sa megacities.

Nagbago ang mundo! At ngayon, kapag ang mga tao ay lumangoy sa karagatan, nag-sunbathe sa dalampasigan o nag-jogging sa baybayin o sa parke, naglalakad sa kagubatan upang mapabuti ang kanilang kalusugan, sa kabaligtaran, inilalantad nila ang kanilang mga katawan sa karagdagang microplastics. Ang mga microplastics mula sa Africa at North America ay natagpuan sa liblib at tila hindi nagagalaw na mga lugar, tulad ng French Pyrenees. Ipinapahiwatig nito ang pandaigdigang pamamahagi ng microplastics, na dinadala ng mga agos ng hangin at pag-ulan, na nagtagumpay sa malalaking distansya.

Ang mga micro- at nanoplastics ay pumapasok sa mga anyong tubig sa lunsod sa pamamagitan ng mga alisan ng tubig, mga pang-industriyang emisyon at tubig-ulan, na kumukuha ng mga particle mula sa atmospera. Halimbawa, ang isang solong paghuhugas ng mga sintetikong tela ay maaaring maglabas ng hanggang 1.5 milyong microplastic particle sa basurang tubig⁴¹. Ang mga particle na ito, minsan sa basurang tubig, ay napupunta sa mga ilog at karagatan, kung saan sila ay natutunaw ng mga isda at iba pang mga organismo sa tubig. Sa pamamagitan ng pagsusuri sa mga basurang matatagpuan sa mga ilog at sa nakapaligid na tanawin, nakalkula ng mga mananaliksik na 10 lamang na sistema ng ilog ang nagdadala sa pagitan ng 88 at 95 porsiyento ng plastic na napupunta sa karagatan mula sa mga ilog⁴².

Sa isa pang pag-aaral, muling isinaalang-alang ng mga siyentipiko ang kumbensyonal na karunungan tungkol sa kung paano nagdadala ng plastic ang mga ilog, at nalaman na ang aktwal na dami ng basurang plastik sa mga ilog ay maaaring 90 porsiyentong mas mataas kaysa sa naunang naisip⁴³.

Ang plastik ay naroroon din sa karamihan ng mga pangunahing lawa sa mundo. Ang densidad ng mga plastik na basura sa mga lawa ay maaaring mas mataas kaysa sa pinakamalaking mga basurahan sa karagatan, at maging ang mga lawa sa malinis na lugar ay naglalaman ng malaking halaga ng basura. Ito ay nakumpirma sa isang pangunahing internasyonal na pag-aaral na pinangunahan nina Barbara Leoni at Veronica Nava ng Unibersidad ng Milano-Bicocca⁴⁴. Ayon sa ulat noong 2021 ng United Nations Environment Programme (UNEP), ang microplastics ay natagpuan sa lahat ng freshwater body na pinag-aralan, kabilang ang mga ilog, lawa, at reservoir⁴⁵. Halimbawa, natuklasan ng mga mananaliksik na halos 10,000 metriko tonelada, o 22 milyong pounds, ng mga plastik na labi ang pumapasok sa Great Lakes mula sa Estados Unidos at Canada bawat taon⁴⁶.

⁴¹De Falco, F., Di Pace, E., Cocca, M. & Avella, M. The contribution of washing processes of synthetic clothes to microplastic pollution. *Sci Rep* 9, 6633 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-43023-x>

⁴²Schmidt, C., Krauth, T. & Wagner, S. Export of Plastic Debris by Rivers into the Sea. *Environ. Sci. Technol.* 51, 12246–12253 (2017). <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b02368>

⁴³Valero, D., Belay, B. S., Moreno-Rodenas, A., Kramer, M. & Franca, M. J. The key role of surface tension in the transport and quantification of plastic pollution in rivers. *Water Research* 226, 119078 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.119078>

⁴⁴Nava, V., Chandra, S., Aherne, J. et al. Plastic debris in lakes and reservoirs. *Nature* 619, 317–322 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06168-4>

⁴⁵United Nations Environment Programme. Monitoring Plastics in Rivers and Lakes: Guidelines for the Harmonization of Methodologies. (2020) <https://www.unep.org/resources/report/monitoring-plastics-rivers-and-lakes-guidelines-harmonization-methodologies>

⁴⁶Hoffman, M. J. & Hittinger, E. Inventory and transport of plastic debris in the Laurentian Great Lakes. *Marine Pollution Bulletin* 115, 273–281 (2017). <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.11.061>

Sa huli, ang microplastics ay bumabalik sa mga tao sa anyo ng isda o pagkaing-dagat.

Natuklasan ng mga siyentipikong Italyano na ang mga prutas at gulay ay naglalaman din ng milyun-milyong microplastic particle. Ang mataas na konsentrasyon ng mga particle na ito ay natagpuan sa mga mansanas, peras, karot, patatas, lettuce at broccoli. Kasabay nito, ang konsentrasyon ng mga particle sa mga prutas ay 2-3 beses na mas mataas kaysa sa mga gulay: mula sa 52 libong mga particle bawat gramo sa litsugas at hanggang sa 223 libo sa mga mansanas⁴⁷.

Nalaman ng pag-aaral na 81% ng 159 na sample ng tubig sa gripo na kinuha sa buong mundo ay naglalaman ng microplastics⁴⁸. Kinumpirma ng iba pang mga pag-aaral ang mga natuklasan na ito, na binabanggit ang pagkakaroon ng mga microplastic na particle sa mineral na tubig. Kapansin-pansin, ang bilang ng mga particle ay humigit-kumulang pareho sa parehong salamin at polyethylene terephthalate (PET) na mga bote, na may bilang na umaabot sa 6,292 particle bawat litro^{49, 50, 51}.

Ang mga siyentipiko mula sa Unibersidad ng Newcastle (Australia) ay nagsagawa⁵² ng isang pag-aaral upang tantiyahin kung gaano karaming plastik ang natupok ng karaniwang modernong tao. Ang mga resulta ay nagpakita na ang isang tao ay kumakain ng humigit-kumulang 250 g ng plastic bawat taon, na katumbas ng 50 plastic bag⁵³.

⁴⁷Oliveri Conti, G. et al. Micro- and nano-plastics in edible fruit and vegetables. The first diet risks assessment for the general population. *Environmental Research* 187, 109677 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109677>

⁴⁸Kosuth, M., Mason, S. A. & Wattenberg, E. V. Anthropogenic contamination of tap water, beer, and sea salt. *PLoS ONE* 13, e0194970 (2018).

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194970>

⁴⁹Schymanski, D., Goldbeck, C., Humpf, H.-U. & Fürst, P. Analysis of microplastics in water by micro-Raman spectroscopy: Release of plastic particles from different packaging into mineral water. *Water Research* 129, 154–162 (2018). <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.11.011>

⁵⁰Oßmann, B. E. et al. Small-sized microplastics and pigmented particles in bottled mineral water. *Water Research* 141, 307–316 (2018).

<https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.05.027>

⁵¹Winiarska, E., Jutel, M. & Zemelka-Wiacek, M. The potential impact of nano- and microplastics on human health: Understanding human health risks. *Environmental Research* 251, 118535 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118535>

⁵²University of Newcastle. Plastic ingestion by people could be equating to a credit card a week.

<https://www.newcastle.edu.au/newsroom/featured/plastic-ingestion-by-people-could-be-equating-to-a-credit-card-a-week>

⁵³Senathirajah, K. et al. Estimation of the mass of microplastics ingested – A pivotal first step towards human health risk assessment. *Journal of Hazardous Materials* 404, 124004 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124004>

MGA EPEKTO SA KAPALIGIRAN AT KLIMA NG MICRO- AT NANOPLASTIC NA POLUSYON

Paano Sinisira ng MNP ang mga Ecosystem sa Antas ng Molekular

Ang mga plastik na basura ay nasa lahat ng dako: mula sa karagatan at ilog hanggang sa lupa, hangin at maging sa mga glacier⁵⁴. Ang mga pangmatagalang obserbasyon ay nagpapatunay na ang plastik, hindi katulad ng mga halaman at hayop, ay hindi sumasailalim sa aktibong natural na pagkabulok⁵⁵. Ito ay nananatili sa kapaligiran nang hindi nakikilahok sa mga natural na biodegradation cycle. Idinisenyo upang labanan ang mga proseso ng pagkabulok, ang plastik ay naging permanenteng elemento ng pandaigdigang ecosystem. Ang paglaban na ito, sa una ay itinuturing na tagumpay sa teknolohiya, ngayon ay humahantong sa makabuluhang kawalan ng timbang sa ekolohiya.

Mahigit 13,000 kemikal ang ginagamit sa paggawa ng mga plastik. Sa mga ito, higit sa 3,200, kabilang ang mga monomer, additives at mga tulong sa pagpoproseso, ay potensyal na mapanganib dahil sa kanilang mga nakakalason na katangian⁵⁶.

Epekto ng mga MNP sa Mga Katangian ng Lupa at Pagkasira ng Ecosys-

Ipinapakita ng pananaliksik na ang microplastic na polusyon ng mga terrestrial ecosystem, lalo na ang mga lupang pang-agrikultura, ay maaaring 4-23 beses na mas mataas kaysa sa mga kapaligiran sa tubig⁵⁷, na nagpapahiwatig ng malaking akumulasyon ng mga plastik sa mga lupa. Naiipon ang mga plastik sa mga lupa sa pamamagitan ng iba't ibang paraan, kabilang ang mga wastewater treatment plant, mulching, atmospheric deposition, at mga pang-araw-araw na produkto. Ang hindi mabilang na paggamit ng mga single-use na plastic na produkto ay hindi mapaghihiwalay na nauugnay sa malubhang polusyon sa lupa na may micro- at nanoplastics. Ang mga natural at anthropogenic na kadahilanan ay nag-aambag⁵⁸ sa pagtagos ng maliliit na microplastic na particle sa lupa, na nagbabago sa mahahalagang proseso ng ekolohiya⁵⁹.

Kinumpirma ng mga obserbasyon ang mga nakakapinsalang epekto ng microplastics sa mga ecosystem, na nakakaapekto sa istraktura at pag-andar ng mga mikroorganismo, halaman, at mga lupa (Larawan 15).

⁵⁴Hale, R. C., Seeley, M. E., La Guardia, M. J., Mai, L. & Zeng, E. Y. A Global Perspective on Microplastics. *Journal of Geophysical Research: Oceans* 125, e2018JC014719 (2020). <https://doi.org/10.1029/2018JC014719>

⁵⁵Huang, S. et al. Plastic Waste Management Strategies and Their Environmental Aspects: A Scientometric Analysis and Comprehensive Review. *IJERPH* 19, 4556 (2022). <https://doi.org/10.3390/ijerph19084556>

⁵⁶United Nations Environment Programme. Chemicals in Plastics - A Technical Report (2023).

<https://www.unep.org/resources/report/chemicals-plastics-technical-report> (Accessed May 1, 2025)

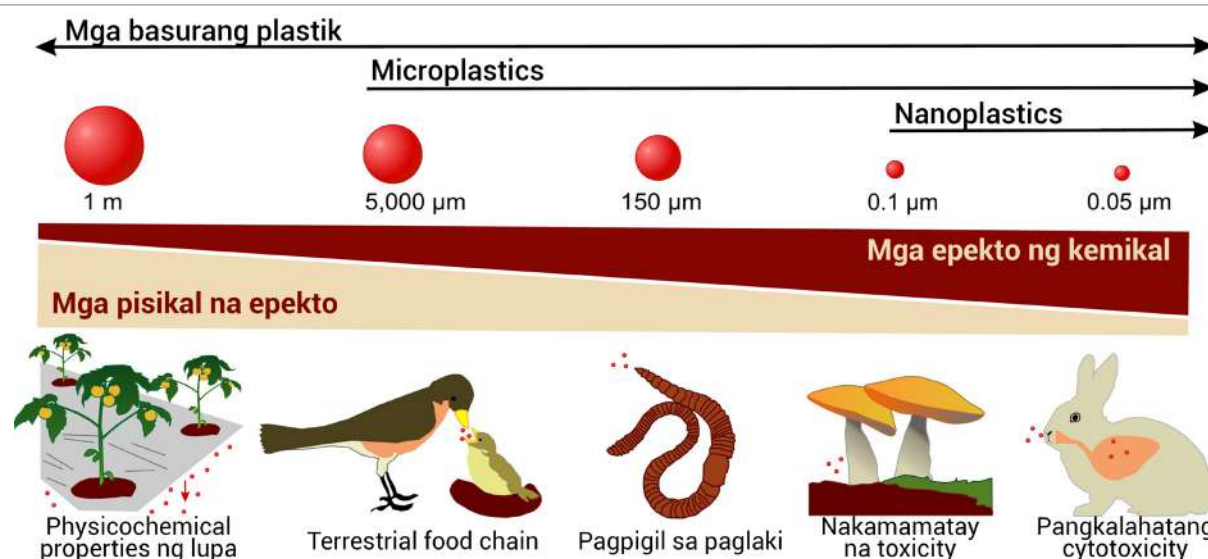
⁵⁷Yu, H., Zhang, Y., Tan, W. & Zhang, Z. Microplastics as an Emerging Environmental Pollutant in Agricultural Soils: Effects on Ecosystems and Human Health. *Front. Environ. Sci.* 10, 855292 (2022). <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.855292>

⁵⁸Rillig, M. C., Ingrassia, R. & De Souza Machado, A. A. Microplastic Incorporation into Soil in Agroecosystems. *Front. Plant Sci.* 8, 1805 (2017).

<https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01805>

⁵⁹Shafea, L. et al. Microplastics in agroecosystems: A review of effects on soil biota and key soil functions. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 186, 5–22 (2023).

<https://doi.org/10.1002/jpln.202200136>

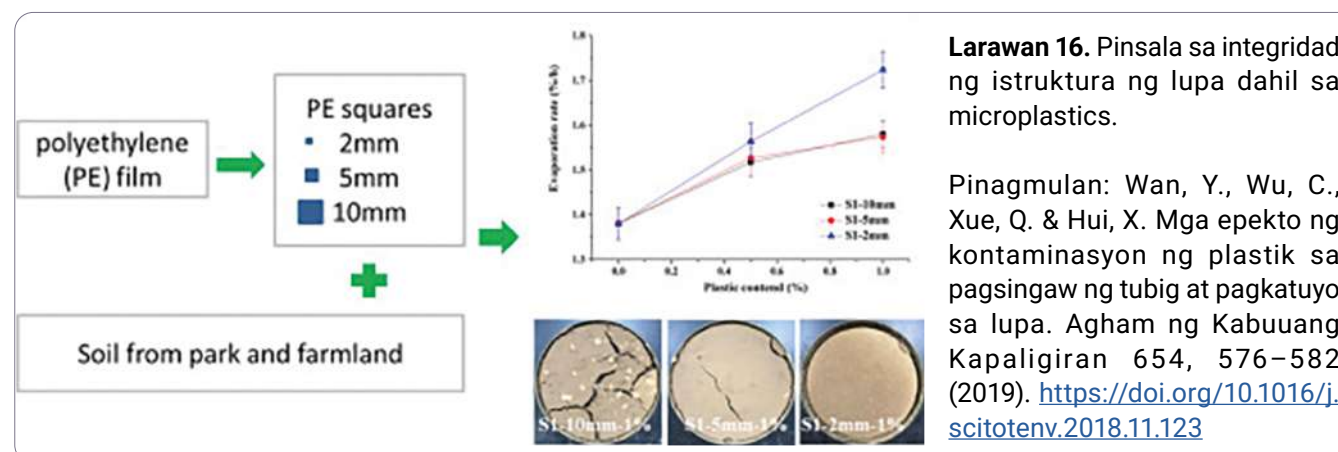


Larawan 15. Microplastics bilang trigger para sa pinagsamang pisikal at kemikal na epekto.

Ang biogeochemistry ng lupa na may kaugnayan sa agrikultural na pagmamalts (steinmetz et al., 2016), paglunok ng mga ibong panlupa at kontinental (Gil-Delgado et al., 2017; holland et al., 2016; zhao et al., 2016), pagbawas sa paglaki ng mga bulate sa lupa, (Lwanga et al. et al., 2016) nakamamatay na toxicity sa fungi (miyazaki et al., 2014, 2015; nimura et al., 2003; Oberdorster, 2000; schmid & stoeger, 2016) at malawak na cytotoxicity (forte et al., 2016; kato et al., 2003) ng nanoplastics.

Inangkop mula sa: de Souza Machado AA, Kloas W, Zarfl C, Hempel S, Rillig MC. Microplastics bilang isang umuusbong na banta sa mga terrestrial ecosystem. Glob Change Biol. 2018; 24: 1405–1416. <https://doi.org/10.1111/gcb.14020>

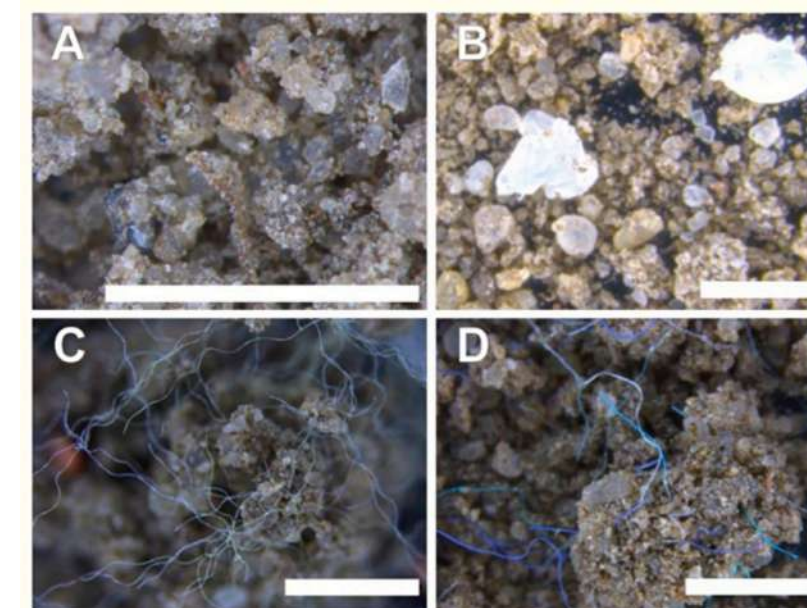
Ang mga resulta ng pag-aaral ng akademya ng agham ng Tsino, ay nagpakita na ang pagkakaroon ng mga plastic film na may iba't ibang laki sa lupa ay makabuluhang nagpapataas ng rate ng pagsingaw ng tubig. Ang epekto ay lalo na malakas kapag 2-mm particle ay idinagdag. Ang mas malalaking plastic fragment (5–10 mm) ay nagdulot ng pag-crack ng lupa, na sinisira ang integridad ng istruktura nito. Ang mga datos na ito ay nagpapahiwatig na ang plastik na polusyon ay nakakagambala sa ikot ng tubig sa mga lupa, na maaaring magpalala sa kakulangan ng tubig sa lupa at makakaapekto sa patayong transportasyon ng mga pollutant⁶⁰ (Mga Larawan 16–17).



Larawan 16. Pinsala sa integridad ng istruktura ng lupa dahil sa microplastics.

Pinagmulan: Wan, Y., Wu, C., Xue, Q. & Hui, X. Mga epekto ng kontaminasyon ng plastik sa pagsingaw ng tubig at pagkatuyo sa lupa. Agham ng Kabuuang Kapaligiran 654, 576–582 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.123>

⁶⁰Wan, Y., Wu, C., Xue, Q. & Hui, X. Effects of plastic contamination on water evaporation and desiccation cracking in soil. Science of The Total Environment 654, 576–582 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.123>

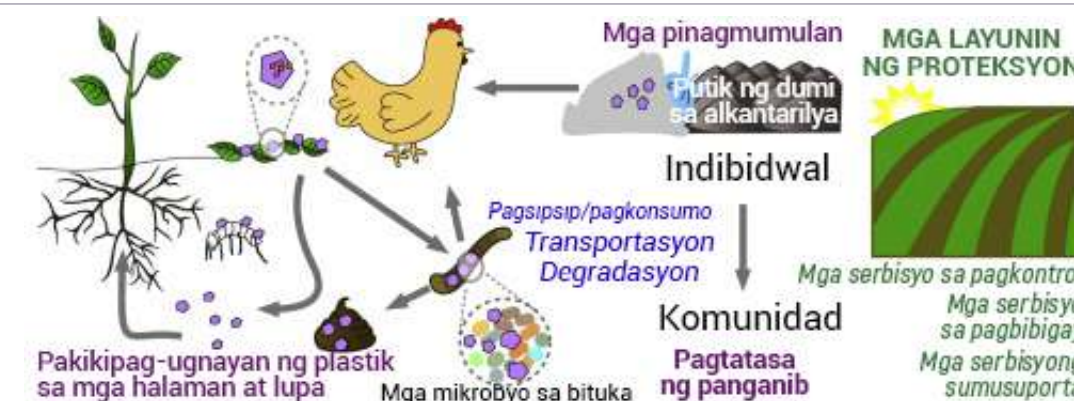


Larawan 17. Pagsasama ng mga microplastic particle sa biophysical na kapaligiran ng lupa.

Ang istraktura ng control soil (A) ay biswal na hindi makilala sa ilalim ng stereomicroscope mula sa lupa na kontaminado ng polyamide beads (SI S1D). Ang mga polyethylene fragment (B) at polyester (C) o polyacrylic fibers (D) ay nagresulta sa nakikitang mga katangian ng lupa. Ang puting bar sa bawat panel ay kumakatawan sa laki ng 1 mm.

Pinagmulan: De Souza Machado, A. A. et al. Mga Epekto ng Microplastics sa Lupa biophysical na kapaligiran. Kapaligiran. Sci. Technol. 52, 9656–9665 (2018). <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b02212>

Kinukumpirma rin ng pananaliksik ang masamang epekto ng plastic sa biota ng lupa, isang magkakaibang komunidad na kinabibilangan ng mga microorganismo (hal. bacteria, fungi) at fauna (microscopic at macroscopic na hayop). Ang mga organismo na ito ay nakikipag-ugnayan sa isa't isa, mga ugat ng halaman, at kapaligiran upang bumuo ng mga sapot ng pagkain sa lupa (Larawan 18) na mahalaga para sa nutrient cycling at kalusugan ng halaman.

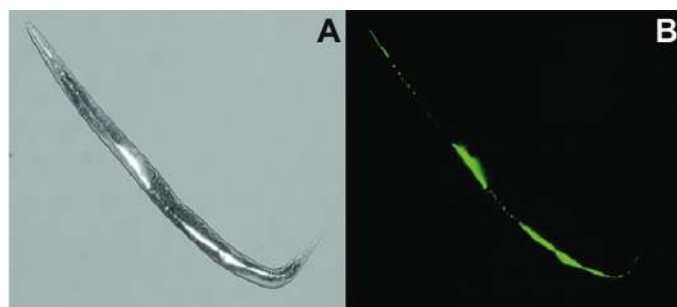


Larawan 18: Schematic na paglalarawan ng pagbuo ng food chain sa lupa.

Pinagmulan: Ng, E.-L. et al. Isang pangkalahatang-ideya ng microplastic at nanoplastic na polusyon sa agroecosystem. agham ng kabuuang kapaligiran, 627, 1377–1388 (2018). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.341>

Ang iba't ibang uri ng terrestrial biota ay nagsisilbing bioindicator ng microplastic na polusyon. Ang lahat ng mga sample na nasuri ay naglalaman ng mga microplastic na particle at potensyal na nakakalason na elemento (Sb, As, Fe, Al, Se, Zn) sa iba't ibang konsentrasyon, na nagpapahiwatig⁶¹ ng posibleng toxicity ng microplastics⁶².

Ipinakita ng pananaliksik na ang polystyrene beads ay maaaring kainin ng nematode na naninirahan sa lupa na *Caenorhabditis elegans* (Larawan 19); ito rin ay nagmumungkahi na ang polystyrene particle ay maaaring maipon sa loob ng food chain ng lupa⁶³.



Larawan 19: Maliwanag na field (A) at fluorescence (B) na mga larawan ng *Caenorhabditis elegans* adult worm na nag-ipon ng 0.5 μm microspheres ng yellow-green fluorescence sa loob ng 15 min sa 20°. Ang mga larawan ay kinuha sa $\times 100$ magnification.

Pinagmulan: Kiyama, Y., Miyahara, K. & Ohshima, Y. Aktibong pagkuha ng mga artipisyal na particle sa nematode *Caenorhabditis elegans*. *Journal of Experimental Biology*, 215, 1178–1183 (2012). <https://doi.org/10.1242/jeb.067199>

Ang biota ng lupa ay higit pa sa “biological engine ng Earth”: ito ay isang multifunctional system kung saan umaasa ang lahat ng terrestrial ecosystem. Ang papel nito sa pagpapanatili ng buhay sa planeta ay maihahambing sa mga karagatan at atmospera, gaya ng kinumpirma ng pananaliksik sa agham ng lupa, ekolohiya, at pag-aaral ng klima. Anumang pagkagambala na dulot ng toxicity ay maaaring makaapekto sa maraming kritikal na proseso sa loob ng lupa at sa food chain nito, na humahantong sa ecological imbalance.

Ang mga natuklasan ay nagpapakita na ang microplastics ay maaaring mabilis na mag-adsorb sa mga ibabaw ng lupa dahil sa kanilang maliit na sukat, mataas na tiyak na lugar ng ibabaw, malakas na hydrophobicity, at paglaban sa biodegradation⁶⁵. Ang mga katangiang ito ay nagpapadali sa madaling pag-aampon at pag-iipon sa mga organismo, na nagdudulot ng potensyal na banta sa kalusugan ng tao. Ang prosesong ito ay hindi limitado sa layer ng lupa: umaabot ito sa mga halaman kung saan ang microplastics ay patuloy na nagdudulot ng mga nakakapinsalang epekto.

Mga MNP sa Pagkain

Ang mga anthropogenic pollutant ay maaaring magkaroon ng malaking epekto sa mga ecosystem, lalo na kapag pumapasok ang mga ito sa mga halaman. Nakumpirma na ang mga MNP ay maaaring kunin at dalhin sa iba't ibang organo ng halaman.

⁶¹Ng, E.-L. et al. An overview of microplastic and nanoplastic pollution in agroecosystems. *Science of The Total Environment* 627, 1377–1388 (2018).

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.341>

⁶²Al Malki, J. S., Hussien, N. A., Tantawy, E. M., Khattab, Y. & Mohammedin, A. Terrestrial Biota as Bioindicators for Microplastics and Potentially Toxic Elements. *Coatings* 11, 1152 (2021). <https://doi.org/10.3390/coatings11101152>

⁶³Kiyama, Y., Miyahara, K. & Ohshima, Y. Active uptake of artificial particles in the nematode *Caenorhabditis elegans*. *Journal of Experimental Biology* 215, 1178–1183 (2012). <https://doi.org/10.1242/jeb.067199>

⁶⁴Al Malki, J. S., Hussien, N. A., Tantawy, E. M., Khattab, Y. & Mohammedin, A. Terrestrial Biota as Bioindicators for Microplastics and Potentially Toxic Elements. *Coatings* 11, 1152 (2021). <https://doi.org/10.3390/coatings11101152>

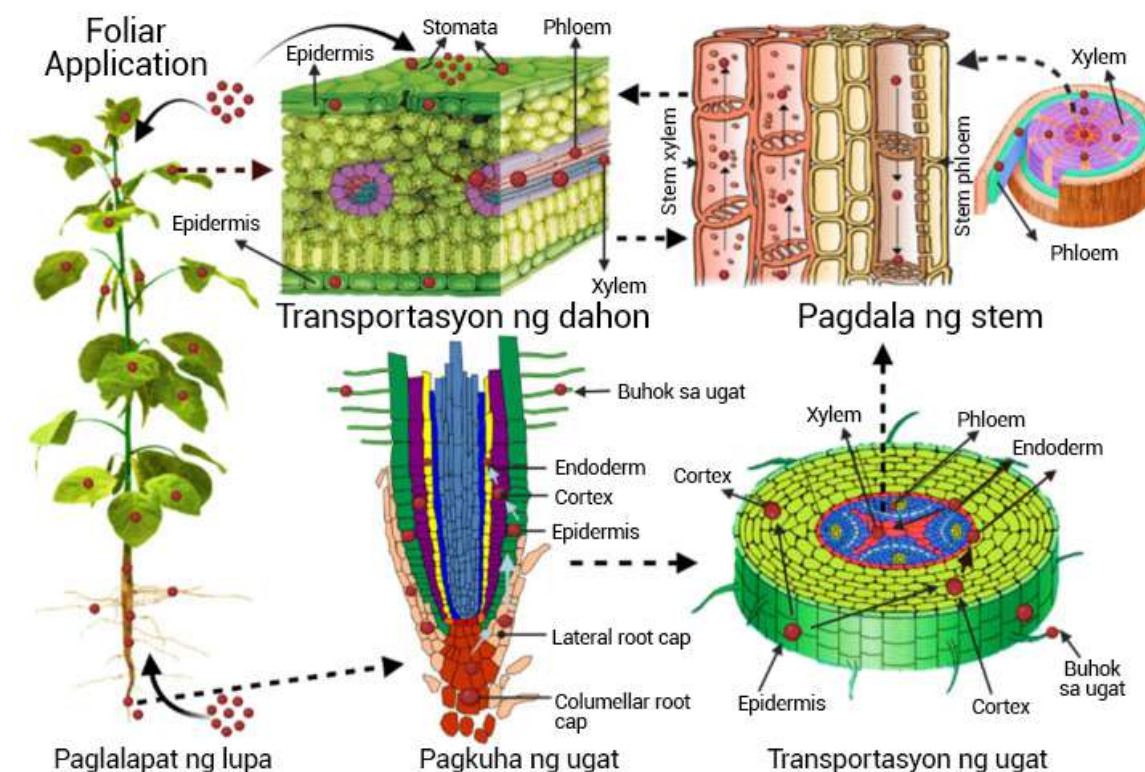
⁶⁵Sajjad, M. et al. Microplastics in the soil environment: A critical review. *Environmental Technology & Innovation* 27, 102408 (2022).

<https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102408>

Isinasaad ng data ng pananaliksik na ang microplastics ay nag-iipon sa mga sistema ng halaman sa pamamagitan ng iba't ibang mga landas, na nagdudulot ng masamang epekto sa mga halaman, pananim, at mga produktong pagkain.

Ang mga nanoplastics, dahil sa kanilang maliit na sukat, ay maaaring direktang tumagos sa tissue ng halaman⁶⁶. Ang mga halaman ay kumukuha ng nanoplastics mula sa nutrient medium, pagkatapos ay dinadala sila sa mga bahagi sa itaas ng lupa sa pamamagitan ng xylem, isang sistema ng pagsasagawa ng mga sisidlan na nagdadala ng tubig at mga sustansya mula sa mga ugat patungo sa mga tangkay at dahon.

Ang mga microplastics na idineposito sa mga dahon ay tumagos sa stomata at maaaring dalhin sa mga ugat sa pamamagitan ng mga vascular bundle. Ang parehong micro- at nanoplastics ay nagpapakita ng mga nakakalason na epekto sa mga prosesong pisyolohikal at aktibidad ng enzymatic ng mga halamang pang-agrikultura⁶⁷ (Larawan 20).



Larawan 20: Mga mekanismo ng micro- at nanoplastic uptake sa mga halaman.

Mekanismo ng pagkuha ng halaman ng plastik sa pamamagitan ng paglalagay ng lupa sa pamamagitan ng pagsipsip ng ugat at mga daanan ng transportasyon mula sa ugat hanggang sa tangkay at pagdadala ng tangkay sa dahon at prutas. Ang foliar application ay nagpapakita ng pagpasok ng plastic sa dahon ng stomata at kalaunan ay inilipat sa ibang bahagi ng halaman. Ang cure arrow ay nagpapahiwatig ng pagkakaroon ng plastic sa planta at ang putol-putol na arrow ay nagpapahiwatig ng transportasyon sa loob ng halaman.

Pinagmulan: Azeem, I. et al. Uptake at Accumulation ng Nano/Microplastics sa Mga Halaman: Isang Kritikal na Pagsusuri. *Mga Nanomaterial* 11, 2935 (2021). <https://doi.org/10.3390/nano11112935>

⁶⁶Hasan, M. M. et al. Impact of microplastics on terrestrial ecosystems: A plant-centric perspective. *Environmental Pollution and Management* 1, 223–234 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.epm.2024.11.002>

⁶⁷Azeem, I. et al. Uptake and Accumulation of Nano/Microplastics in Plants: A Critical Review. *Nanomaterials* 11, 2935 (2021). <https://doi.org/10.3390/nano11112935>

Ang sistema ng transportasyon ng tubig ng halaman ay maaaring mabilis na magdala ng nanoplastics sa mga tangkay, dahon, at posibleng mga prutas. Ang pananaliksik sa mga halaman ng tabako (*Nicotiana tabacum*) ay nagpapakita na habang ang 100-nanometer nanoplastics ay hindi pumapasok sa mga selula ng halaman, ang mas maliliit na particle — 20 hanggang 40 nanometer ang laki — ay matagumpay na nasisipsip⁶⁸.

Bilang karagdagan, ang ilang mga plastic na particle ay nagdadala ng mga singil sa ibabaw, na maaaring mapahusay ang kanilang sumisipsip sa mga ugat ng halaman sa pamamagitan ng electrostatic attraction. Ang interaksyon na ito ay maaaring makaapekto sa Immobilization ng nutrisyon, o makagambala sa photosynthesis⁶⁹. Ang mga microplastics na may negatibong charge ay mas malamang na makapasok sa root cortex⁷⁰.

Sa mga agroecosystem na labis na kontaminado ng mga particle na ito, ang mga pag-aaral ay nag-uulat ng pagbaril sa paglaki ng halaman,⁷¹ pati na rin ang panandalian at lumilipas na mga epekto sa pagtubo ng binhi at pag-unlad ng ugat⁷².

Kinumpirma ng mga pag-aaral ang pagkakaroon ng microplastics sa honey na magagamit sa komersyo, na ginawa sa industriya at lokal. Ang karagdagang pagsusuri ay nagsiwalat ng malawakang pagkakaroon ng microplastics sa mga inflorescences ng iba't ibang uri ng halaman^{73, 74}.

Sa mga nagdaang taon, ang kalusugan ng mga populasyon ng bubuyog sa buong mundo ay lumala nang husto. Iminumungkahi ng pananaliksik na ang isa sa mga minamaliit na dahilan para dito ay maaaring polusyon sa kapaligiran ng microplastics (MP) at nanoplastics (NP). Ipinakita ng pananaliksik na ang mga bubuyog ay “nangongolekta” ng mga microplastics mula sa hangin, tubig, halaman at lupa, at pagkatapos ay ibalik ang mga ito sa pugad. Kinokolekta ng mga bubuyog ang nektar at pollen mula sa mga halaman, pati na rin ang tubig mula sa mga likas na pinagkukunan - lahat ng ito ay naglalaman na ng microplastics. Ang mga buhok sa katawan ng mga bubuyog ay nagsisilbing “mga bitag” para sa mga particle. Ang mga plastik na particle ay naiipon din sa mga binti, lalo na sa mga fold at sa pagitan ng mga segment - sila ay nakikipag-ugnay sa mga ibabaw ng mga halaman,



“Ang pulot-pukyutan ay isang napakahusay na biyolohikal na tagapagpahiwatig ng polusyon sa kapaligiran, dahil ito ay nasa lahat ng dako, na natatakpan ng mga buhok na kumukuha ng mga dumi at mga particle na naroroon sa hangin, sensitibo sa mga pollutant, napaka-mobile at may malawak na radius ng paglipad, bukod sa iba pang mga bagay.”⁷⁵

⁶⁸Bandmann, V., Müller, J. D., Köhler, T. & Homann, U. Uptake of fluorescent nano beads into BY2-cells involves clathrin-dependent and clathrin-independent endocytosis. FEBS Letters 586, 3626–3632 (2012). <https://doi.org/10.1016/j.febslet.2012.08.008>

⁶⁹Lian, J. et al. Do polystyrene nanoplastics affect the toxicity of cadmium to wheat (*Triticum aestivum* L.)? Environmental Pollution 263, 114498 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114498>

⁷⁰Li, W. et al. Uptake and effect of carboxyl-modified polystyrene microplastics on cotton plants. Journal of Hazardous Materials 466, 133581 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.133581>

⁷¹Azeem, I. et al. Uptake and Accumulation of Nano/Microplastics in Plants: A Critical Review. Nanomaterials 11, 2935 (2021). <https://doi.org/10.3390/nano11112935>

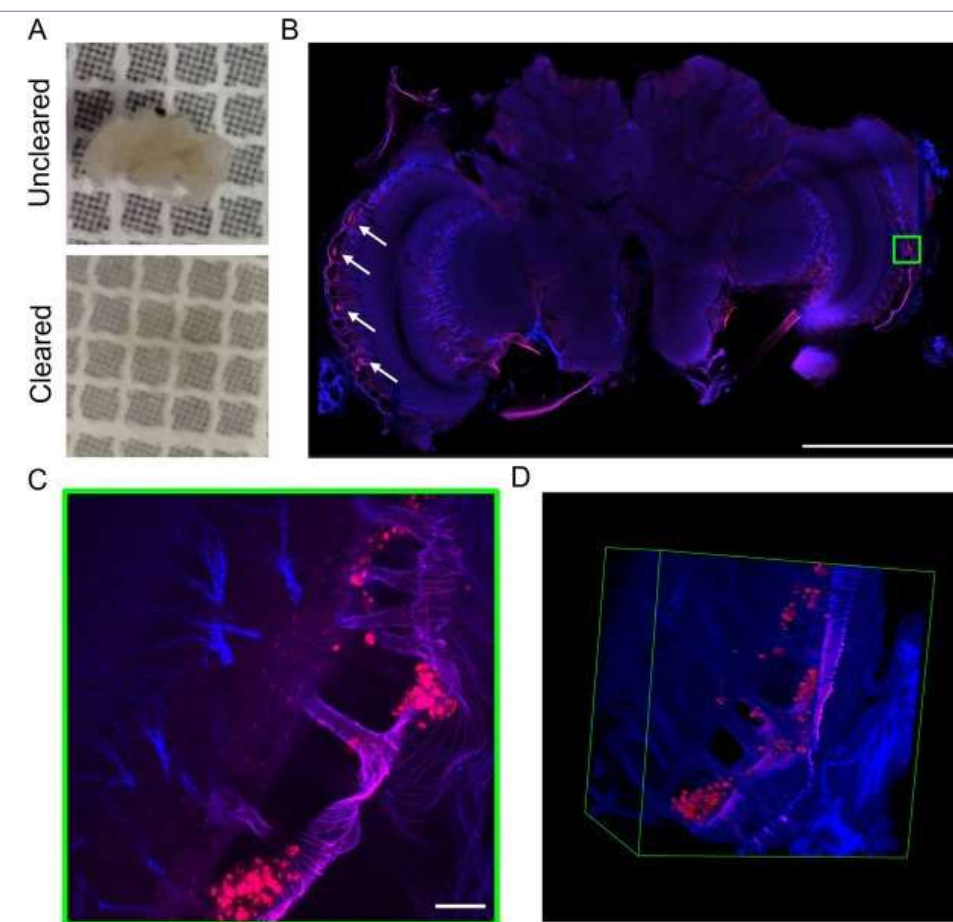
⁷²Bosker, T., Bouwman, L. J., Brun, N. R., Behrens, P. & Vijver, M. G. Microplastics accumulate on pores in seed capsule and delay germination and root growth of the terrestrial vascular plant *Lepidium sativum*. Chemosphere 226, 774–781 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.03.163>

⁷³Liebezeit, G. & and Liebezeit, E. Non-pollen particulates in honey and sugar. Food Additives & Contaminants: Part A 30, 2136–2140, 2013 <https://doi.org/10.1080/19440049.2013.843025>

⁷⁴Basaran, B. et al. Microplastics in honey from Türkiye: Occurrence, characteristic, human exposure, and risk assessment. Journal of Food Composition and Analysis 135, 106646 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2024.106646>

⁷⁵Alma, A. M., de Groot, G. S. & Buteler, M. Microplastics incorporated by honeybees from food are transferred to honey, wax and larvae. Environmental Pollution 320, 121078 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121078>

Ang micro at nanoplastics ay pumapasok din sa katawan ng bubuyog sa pamamagitan ng cuticle (ang panlabas na shell ng katawan). Pagkatapos makapasok sa katawan ng bubuyog, ang mga plastik na particle ay umaabot sa utak sa loob ng 3 araw, na nagiging sanhi ng memorya, oryentasyon, at mga kapansanan sa pag-iisip na kritikal para sa paghahanap ng pagkain at pag-navigate. Ang epekto ng microplastics sa utak ay humahantong din sa pagbawas sa kakayahang ibalik ang memorya. Ito ay kritikal dahil ang mga bubuyog ay nag-navigate gamit ang mga pamilyar na landmark sa kalawakan. Ang mga nanoplastics sa utak ng mga bubuyog ay humahantong din sa pagkawala ng kakayahan ng mga bubuyog na matandaan kung nasaan ang mga mapagkukunan ng nektar, mas malala ang reaksiyon sa mga pabango ng bulaklak, at nawawala ang kanilang daan pabalik sa pugad. Ang ganitong mga kapansanan sa pag-iisip ay direktang binabawasan ang bisa ng polinasyon at maaaring masira ang buong kolonya⁷⁶.



Larawan 21. Pagtuklas ng malaking halaga ng microplastics sa utak ng honeybee.

A) Mga larawan ng pinaghiwa-hiwalay na utak bago at pagkatapos ng iDISCO paglilinis.

B) Solong optical na seksyon (~200 μm depth) ng isang 3D muling pagtatayo ng buong utak na nakuha ng dalawang-photon fluorescence microscopy na may 10x na layunin; resolution: $0.51 \times 0.51 \times 2 \mu\text{m}^3$. Ang asul ay nagpapakihawig ng tissue autofluorescence, ang pula ay nagpapakihawig ng red-fluorescent microplastics (ipinahiwatig ng mga puting arrow). Scale bar: 1000 μm .

C) High-resolution na inset ng berdeng naka-highlight na rehiyon sa larawan B, nakuha na may 63x na layunin. Ang imahe ay isang maximum na intensity projection ng isang 150 μm deep stack series na may resolution na $0.17 \times 0.17 \times 1 \mu\text{m}^3$. Scale bar: 20 μm .

D) 3D visualization ng stack series na ipinakita sa C. Mga Dimensyon: $170 \times 170 \times 150 \mu\text{m}^3$.

Pinagmulan: Pasquini, E. et al. Ang microplastics ay umaabot sa utak at nakakasagabal sa honey bee cognition. Science of The Total Environment 912, 169362 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169362>

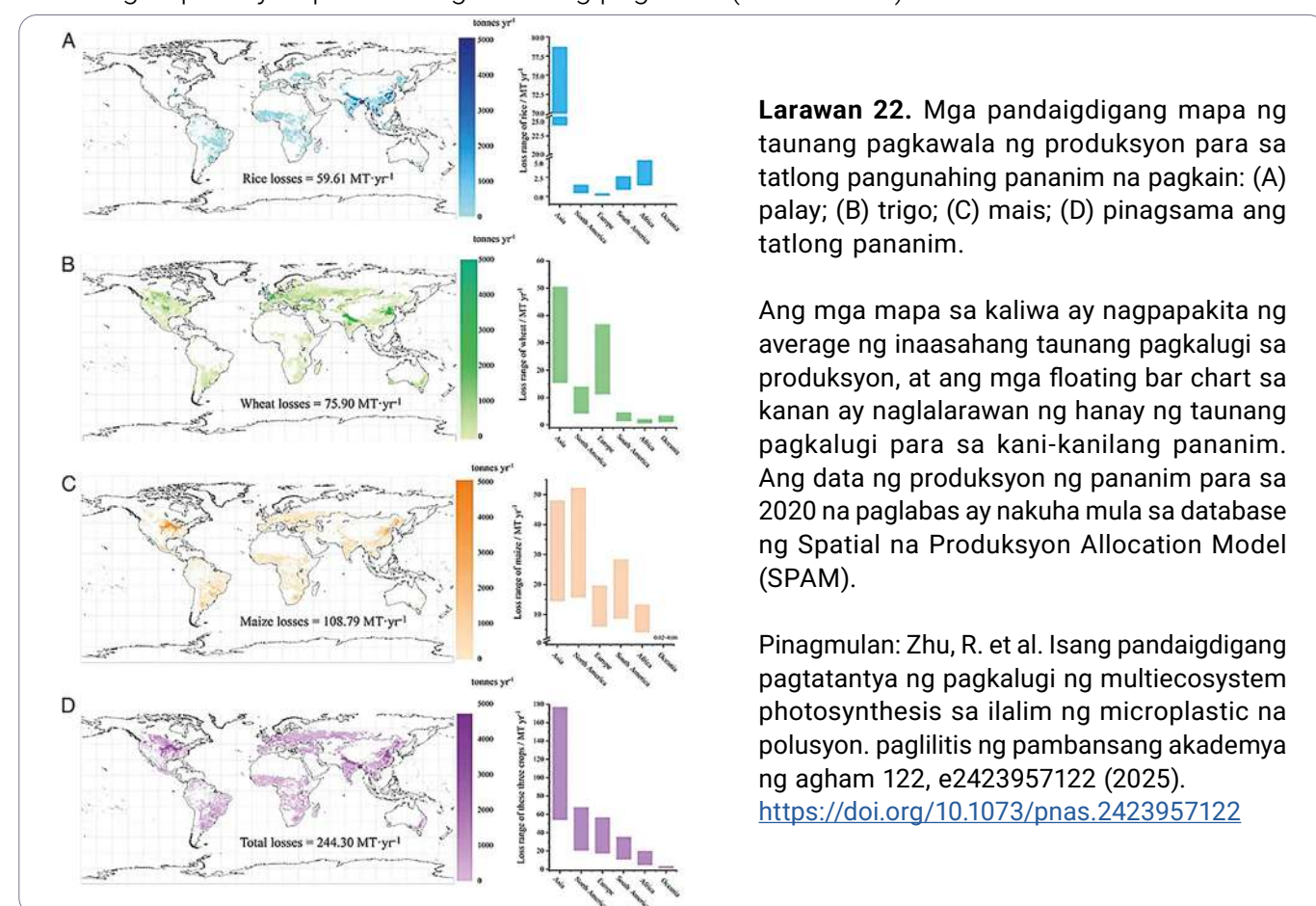
⁷⁶Pasquini, E. et al. Microplastics reach the brain and interfere with honey bee cognition. Science of The Total Environment 912, 169362 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169362>

Kapag natutunaw ng mga bubuyog, ang nanoplastics ay nagdudulot din ng pinsala sa bituka, nagpapahina sa immune system, at nagpapataas ng pagkamaramdamin sa mga virus, na maaaring humantong sa pagkamatay ng mga bubuyog kahit na walang matinding plastic toxicity^{75, 77}. Bilang karagdagan, ang mga plastik na fragment ay naiipon hindi lamang sa mga bubuyog, kundi pati na rin sa pulot, wax, at larvae, na lumilikha ng isang masamang ikot ng plastic na polusyon sa loob ng pugad⁷⁵.

Ito ay maaaring magkaroon ng malubhang kahirinatnan hindi lamang para sa mga bubuyog, kundi pati na rin para sa seguridad sa pagkain. Ang mga bubuyog ay mga pangunahing pollinator, at ang kanilang pagpapahina ay direktang nakakaapekto sa mga ani ng pananim.

Ang pinsala sa utak, pagbaba ng timbang, at mahinang kaligtasan sa sakit ay humantong sa pagbaba sa aktibidad ng polinasyon, na, gaya ng babala ng mga siyentipiko, ay maaaring magpalala sa krisis sa pandaigdigang produksyon ng pagkain⁷⁷. Ang mga bubuyog ay kumikilos bilang mga aktibong bioindicator ng polusyon, at ang microplastics ay natagpuan na sa malaking dami sa pulot, anuman ang bansang pinagmulan⁷⁸.

Gayundin, binabawasan ng epekto ng MF ang kabuuang nilalaman ng chlorophyll ng 5.63–17.42%, na humahantong sa pagkawala sa pandaigdigang produksyon ng bigas, trigo, at mais. Ang pagkawala na ito ay 4.11–13.52% ng kabuuang taunang produksyon ng mundo ng mga pananim na ito, na may malaking implikasyon para sa seguridad ng pagkain⁷⁹ (Larawan 22).



⁷⁷Sheng, D., Jing, S., He, X., Klein, A.-M., Köhler, H.-R. & Wanger, T. C. Plastic pollution in agricultural landscapes: an overlooked threat to pollination, biocontrol and food security. *Nature Communications* 15, 8413 (2024).

⁷⁸Al Naggar, Y. A., Sayes, C. M., Collom, J. C., Ayorinde, T., Qi, S., El-Seedi, H. R., Paxton, R. J. & Wang, K. Chronic exposure to polystyrene microplastic fragments has no effect on honey bee survival, but reduces feeding rate and body weight. *Toxics* 11, 100 (2023)

⁷⁹Zhu, R. et al. A global estimate of multiecosystem photosynthesis losses under microplastic pollution. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 122, e2423957122 (2025). <https://doi.org/10.1073/pnas.2423957122>

Mga kagubatan bilang mga nagtitipon ng MNP

Ang pagsusuri ay nagsiwalat ng pagkakaroon ng nanoplastics sa mga ugat, tangkay, dahon at karayom sa lahat ng pinag-aralan na konsentrasyon at agwat ng oras. Ang mga konsentrasyon ng nanoplastics sa mga ugat ay lumampas sa mga nasa itaas na bahagi ng lupa nang hindi bababa sa 10 beses.

Ang plastik na polusyon ay negatibong nakakaapekto sa paggana ng parehong evergreen coniferous at deciduous tree species, na nagiging sanhi ng oxidative stress at binabawasan ang kahusayan ng photosynthesis, na maaaring humantong sa mas mabagal na paglaki at maging ang pagkamatay ng halaman. Ipinakikita ng pananaliksik na ang mga kaguluhan sa mga yugto ng photosynthesis ay humahantong sa akumulasyon ng labis na enerhiya ng liwanag, na, nang hindi nagiging enerhiya ng kemikal, ay nagdudulot ng photooxidative stress at pinsala sa mga tisyu ng halaman. Upang maprotektahan ang kanilang mga sarili, ang mga halaman ay nag-activate ng mga mekanismo ng photoprotective kung saan ang mga carotenoid ay nagwawaldas ng labis na enerhiya sa anyo ng init⁸⁰.

Sa pamamagitan ng pagkagambala sa photosynthesis, nagiging sanhi ng oxidative stress at pagbabawas ng aktibidad ng pisyolohikal ng halaman, pinapataas ng plastic pollution ang kahinaan ng ecosystem sa pagbabago ng klima. Itinatampok ng mga natuklasang ito ang laki ng epekto ng plastik na polusyon sa mga komunidad ng halaman, na nagbubunga ng mga tanong tungkol sa epekto nito sa mga hayop sa lupa na umaasa sa mga ekosistema na ito.

Paano sinisira ng nanoplastics ang fauna

Maraming mga pag-aaral ang nagpapahiwatig na ang akumulasyon ng micro- at nanoplastics sa kapaligiran, kabilang ang mga halaman, ay nakakaapekto sa produksyon ng mga hayop⁸¹ sa pamamagitan ng pagkagambala sa mga food chain at epekto sa kalusugan ng hayop. Ang mga obserbasyon mula sa isang dairy farm sa Italy ay nagpakita na ang lahat ng sample ng ryegrass hay ay naglalaman ng microplastics⁸². Natuklasan ng isang pag-aaral na isinagawa sa India ang polyethylene terephthalate microplastic contamination sa 100% ng mga sample ng feed ng mga baka ng gatas, na may mga konsentrasyon na mula 89 hanggang 326 g/kg⁸³.

⁸⁰Murazzi, M. E., Pradel, A., Schefer, R. B., Gessler, A. & Mitrano, D. M. Uptake and physiological impacts of nanoplastics in trees with divergent water use strategies. *Environ. Sci.: Nano* 11, 3574–3584 (2024). <https://doi.org/10.1039/D4EN00286E>

⁸¹Borreani, G. & Tabacco, E. 9 - Plastics in Animal Production. In *A Guide to the Manufacture, Performance, and Potential of Plastics in Agriculture* (ed. Orzolek, M. D.) 145–185 (Elsevier, 2017). <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102170-5.00009-9>

⁸²Glorio Patrucco, S., Rivoira, L., Bruzzoniti, M. C., Barbera, S. & Tassone, S. Development and application of a novel extraction protocol for the monitoring of microplastic contamination in widely consumed ruminant feeds. *Science of The Total Environment* 947, 174493 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.174493>

⁸³Maganti, S. S. & Akkina, R. C. Detection and characterisation of microplastics in animal feed. *oJaftr* 13, 348–356 (2023). <https://doi.org/10.51227/oJaftr.2023.50>

Kinumpirma ng pagsusuri ang pagkakaroon ng microplastics sa follicular fluid ng mga baka,⁸⁴ sa gatas,⁸⁵ dumi ng tupa,⁸⁶ karne ng baka, at dugo,⁸⁷ na tumuturo sa mga makabuluhang epekto sa mga ruminant. Ayon sa magagamit na data, 50–60 % ng mga dayuhang bagay na nakuha mula sa mga kinatay na hayop,⁸⁸ - kabilang ang maliliit na ruminant tulad ng mga kambing at tupa, ay binubuo ng mga plastik na materyales. Bilang karagdagan, ang microplastics ay nakita sa mga panloob na tisyu ng mga aso at pusa sa lungsod,⁸⁹ sa mga bituka ng mga domestic duck,⁹⁰ at sa tissue ng baga ng mga baboy⁹¹.

Kinukumpirma ng data ng pananaliksik na ang microplastics ay nakakapinsala sa mga hayop hindi lamang sa kanilang sarili, kundi pati na rin sa pamamagitan ng mga additives na ginagamit sa kanilang produksyon at mga contaminant na hinihigop mula sa kapaligiran, na nagiging sanhi ng iba't ibang antas ng pinsala.⁹² Ang microplastics ay ipinakita na nagdudulot ng mga nakakalason na epekto sa mga hayop, kabilang ang oxidative stress, pinsala sa bituka, immunotoxicity, reproductive toxicity, at neurotoxicity⁹³ (Larawan 23). Higit pa rito, ang microplastics ay nagsisilbing mga tagadala ng mga contaminants gaya ng mabibigat na metal, antibiotics, persistent organic compounds, at pestisidyo na nagdaragdag ng mga potensyal na panganib sa ecosystem, kalusugan ng hayop, at mga tao⁹⁴.

⁸⁴Grechi, N. et al. Microplastics are present in women's and cows' follicular fluid and polystyrene microplastics compromise bovine oocyte function in vitro. *eLife* 12, (2023). <https://doi.org/10.7554/eLife.86791.1>

⁸⁵Da Costa Filho, P. A. et al. Detection and characterization of small-sized microplastics ($\geq 5 \mu\text{m}$) in milk products. *Sci Rep* 11, 24046 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-03458-7>

⁸⁶Beriot, N., Peek, J., Zornoza, R., Geissen, V. & Huerta Lwanga, E. Low density-microplastics detected in sheep faeces and soil: A case study from the intensive vegetable farming in Southeast Spain. *Science of The Total Environment* 755, 142653 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142653>

⁸⁷van der Veen, I., van Mourik, L.M., van Velzen, M.J.M., Groenewoud, Q.R., & Leslie, H.A. Plastic particles in livestock feed, milk, meat and blood: A pilot study. Report EH22-01, 29 April 2022. <https://vakbladvoedingsindustrie.nl/storage/app/media/Rapporten/rapporten%202022/07-juli/VOF-2022-JUL-PLASTICSOP.pdf>

⁸⁸Galyon, H. et al. Long-term in situ ruminal degradation of biodegradable polymers in Holstein dairy cattle. *JDS Communications* 4, 70–74 (2023). <https://doi.org/10.3168/jdsc.2022-0319>

⁸⁹Prata, J. C. et al. Microplastics in Internal Tissues of Companion Animals from Urban Environments. *Animals* 12, 1979 (2022). <https://doi.org/10.3390/ani12151979>

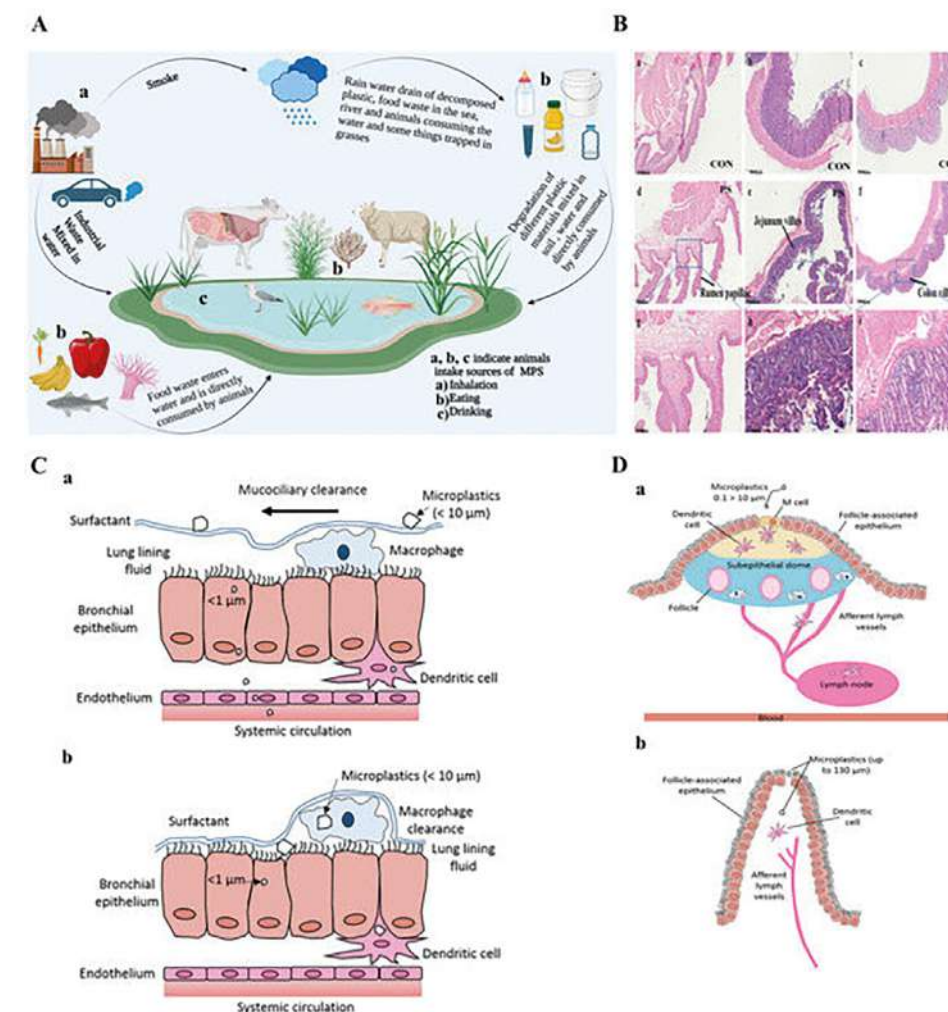
⁹⁰Susanti, R., Yuniastuti, A. & Fibrina, F. The Evidence of Microplastic Contamination in Central Javanese Local Ducks from Intensive Animal Husbandry. *Water Air Soil Pollut* 232, 178 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11270-021-05142-y>

⁹¹Li, H. et al. Detection of microplastics in domestic and fetal pigs' lung tissue in natural environment: A preliminary study. *Environmental Research* 216, 114623 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114623>

⁹²Brennecke, D., Duarte, B., Paiva, F., Caçador, I. & Canning-Clode, J. Microplastics as vector for heavy metal contamination from the marine environment. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 178, 189–195 (2016). <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2015.12.003>

⁹³Su, M. et al. Toxicity Mechanisms of Microplastic and Its Effects on Ruminant Production: A Review. *Biomolecules* 15, 462 (2025). <https://doi.org/10.3390/biom15040462>

⁹⁴Campanale, C., Massarelli, C., Savino, I., Locaputo, V. & Uricchio, V. F. A Detailed Review Study on Potential Effects of Microplastics and Additives of Concern on Human Health. *IJERPH* 17, 1212 (2020). <https://doi.org/10.3390/ijerph17041212>



Larawan 23. Ang representasyon ng eskematiko ng mga ruta ng paggamit ng microplastics at mga gastrointestinal na epekto sa mga hayop.

(A) Mga ruta ng paggamit ng microplastics (MP) sa mga hayop.

(B) Katayuan ng gastrointestinal tract pagkatapos ng pagkakalantad sa mga polystyrene particle (PS) bago at pagkatapos ng pagkakalantad:

Hematoxylin at eosin (H&E) na mga larawan ng rumen (a), jejunum (b) at colon (c) sa control group (CG).

(d) H&E na imahe ng rumen ng maliit na polystyrene particle (Small PS) group.

(e) H&E na imahe ng jejunum ng malaking polystyrene particle (Large PS) na grupo.

(f) H&E na imahe ng colon ng malaking polystyrene particle (Large PS) group.

(g–i) Lokal na pinalaki na mga larawang naaayon sa (d–f), ayon sa pagkakabanggit.

(C) Mga potensyal na mekanismo para sa uptake at clearance ng microplastics (0.1 hanggang 10 μm ang laki) sa mga baga:

(a) Sa itaas na mga daanan ng hangin (gitnang bahagi ng baga), kung saan mas makapal ang lamad ng baga, binabawasan ng mga likido sa baga (surfactant at mucus) ang posibilidad ng microplastic displacement. Ang mga particle na mas malaki sa 1 μm ay inalis ng ciliated mucosa. Ang mga particle na mas maliit sa 1 μm ay maaaring makuha ng epithelium. (b) Kung ang aerodynamic diameter ng microplastics ay nagpapahintulot sa kanila na tumira sa malalim na baga, maaari silang tumagos sa mas manipis na layer ng lung fluid at makipag-ugnayan sa epithelium, na kumakalat sa pamamagitan ng diffusion o aktibong cellular uptake

(D) Mga iminungkahing ruta ng microplastic uptake mula sa gastrointestinal tract (GI):

(a) Pag-uptake ng microplastics (0.1 hanggang 10 μm ang laki) mula sa GI lumen ng mga M cells sa pagkolekta ng mga lymph node ng Peyer sa pamamagitan ng endocytosis. Ang mga M selula ay pumipili at nagdadala ng mga particle mula sa lumen ng bituka patungo sa lymphoid tisyu ng mucosa.

(b) Ang mga microplastics ay kinuha mula sa GI lumen sa pamamagitan ng pagsipsip ng paracellular. Ang mga di-nabubulok na particle tulad ng microplastics ay maaaring mekanikal na isama sa pinagbabatayan na mga tisyu sa pamamagitan ng mahihinang mga junction sa monolayer epithelium. Nakukuha ng mga dendritic selula ang mga particle na ito, dinadala ang mga ito sa mga lymphatic vessel at veins na matatagpuan sa ibaba. Ang mga particle ay maaaring ipamahagi sa pangalawang mga tisyu, kabilang ang atay, kalamnan, at utak.

Pinagmulan: Su, M. et al. Mga Mekanismo ng Pagkalason ng Microplastic at ang Mga Epekto Nito sa Produksyon ng Ruminant: Isang Pagsusuri. *Biomolecules* 15, 462 (2025). <https://doi.org/10.3390/biom15040462>

Ipinapahiwatig ng obserbasyonal na data na ang mga ligaw na hayop ay nagkakamali sa mga basurang plastik bilang pagkain. Ito ay humahantong sa akumulasyon nito sa mga bituka. Sa Zimbabwe⁹⁵ at Sri Lanka⁹⁶, ang mga elepante na nagpapakain sa isang open dump ay namatay mula sa hindi natutunaw na plastik. Sa Japan, namatay ang ligaw na usa dahil sa mga komplikasyon na dulot ng paglunok ng mga basurang plastik na iniwan ng mga turista⁹⁷. Ang isang pag-aaral ng higit sa 30,000 kamelyo malapit sa Dubai sa United Arab Emirates ay natagpuan na 1% ng mga hayop ay naisip na namatay mula sa plastic sa kanilang mga digestive tract⁹⁸. Ginawa ng mga siyentipiko ang terminong “polybezoar” upang ilarawan ang isang siksik na masa ng hindi natutunaw na materyal tulad ng plastic, lubid, basura, at mga deposito ng asin na bumubuo ng parang bato na konkreto sa tiyan o bituka, lalo na sa mga ruminant. Pinagsasama ng termino ang “poly” (ang sintetikong sangkap) at “bezoar” (ang mala-bato na pormasyon). Ang mga polybezoar ay ipinakita na nagiging sanhi ng mga pagbara ng gastrointestinal, sepsis mula sa paglaki ng bacterial, dehydration, at malnutrisyon (Larawan 24).



Larawan 24. Polybenzoars na natagpuan sa loob ng mga patay na kamelyo sa disyerto malapit sa Dubai. Ang pinakamalaking nasuri para sa bagong pag-aaral ay tumitimbang ng halos 6.4 kg (141 lb). Pinagmulan: Eriksen, M., Lusher, A., Nixon, M. & Wernery, U. Ang kalagayan ng mga kamelyo na kumakain ng mga basurang plastik. *Journal ng tuyong kapaligiran* 185, 104374 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104374>

⁹⁵Breton, J. L. Visitation patterns of African elephants (*Loxodonta africana*) to a rubbish dumpsite in Victoria Falls, Zimbabwe. *Pachyderm* 60, 45–54 (2019). <https://doi.org/10.69649/pachyderm.v60i.30>

⁹⁶Animal Survival International. Sri Lankan Elephants Die After Eating Plastic From Rubbish Dumps. (2020) <https://animalsurvival.org/habitat-loss/sri-lankan-elephants-die-after-eating-plastic-from-rubbish-dumps>

⁹⁷Agence France-Presse. Japan's famous Nara deer dying from eating plastic bags. *The Guardian*. <https://www.theguardian.com/world/2019/jul/10/japans-famous-nara-deer-dying-from-eating-plastic-bags>

⁹⁸Eriksen, M., Lusher, A., Nixon, M. & Wernery, U. The plight of camels eating plastic waste. *Journal of Arid Environments* 185, 104374 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104374>

Paglipat ng microplastics sa pamamagitan ng mga food chain mula sa plankton patungo sa tao

Ang akumulasyon ng plastic sa karagatan ay may malaking negatibong epekto sa marine ecosystem. Natukoy ng mga siyentipikong obserbasyon sa nakalipas na apat na dekada ang microplastics sa halos bawat tirahan ng dagat sa mundo.⁹⁹ Kinumpirma ng pananaliksik na ang mga plastic debris ay nagbabanta sa biodiversity sa dagat, na nakakaapekto sa hindi bababa sa 690 species, kabilang ang mga cetacean, pinniped, seabird, pagong, isda at crustacean.¹⁰⁰ Ang paglunok ng plastic ay naglalantad sa mga hayop sa karagdagang mga lason. Ang mga kemikal mula sa mga plastik ay tumutulo sa katawan pagkatapos kumain, na nagpapasa sa food chain mula sa biktima hanggang sa mandaragit. Ang mga epekto ng gusot o paglunok ay mula sa nakamamatay hanggang sa sublethal, na nagdudulot ng mga karamdaman sa pagpapakain, mga problema sa pagtunaw, malnutrisyon, sakit, nabawasan ang kapasidad ng reproductive, nabagalan ang paglaki at pinaikling habang-buhay.¹⁰¹ Dahil sa kanilang maliit na sukat, ang mga microplastics ay kinakain ng plankton, isang pangunahing link sa marine food chain. Ang plankton ay kinakain ng maraming uri ng dagat, at ang mga hindi kumakain dito ay direktang kumakain ng mga organismo na natunaw na ang plankton. Sa ganitong paraan, ang microplastics ay isinama sa mga food chain (Mga Larawan 25-26).

Noong 1999, natuklasan ng isang pagsusuri sa mga sample ng tubig sa ibabaw mula sa gitnang hilaga pacific Gyre na ang masa ng plastic ay lumampas sa masa ng zooplankton, ang pangunahing pinagmumulan ng pagkain para sa ecosystem, ng anim na beses,¹⁰² na nagha-highlight sa pamamayani ng plastic sa mga buhay na organismo sa karagatan.

Ang mga kalkulasyon batay sa data ng pagmamasid ay nagpapakita na ang konsentrasyon ng microplastics ay tumataas sa pagtaas ng laki ng isda. Ipinapakita ng data na ang pinakamalaking hayop, ang balyena, ay nakakakuha ng hanggang 43.6 kg ng plastik araw-araw, na may 98.5% ng volume na ito ay nagmumula sa pagkain sa halip na direkta mula sa tubig, dahil ang microplastics ay nakapaloob na sa biktima¹⁰³.

⁹⁹Ivar Do Sul, J. A. & Costa, M. F. The present and future of microplastic pollution in the marine environment. *Environmental Pollution* 185, 352–364 (2014).

<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.10.036>

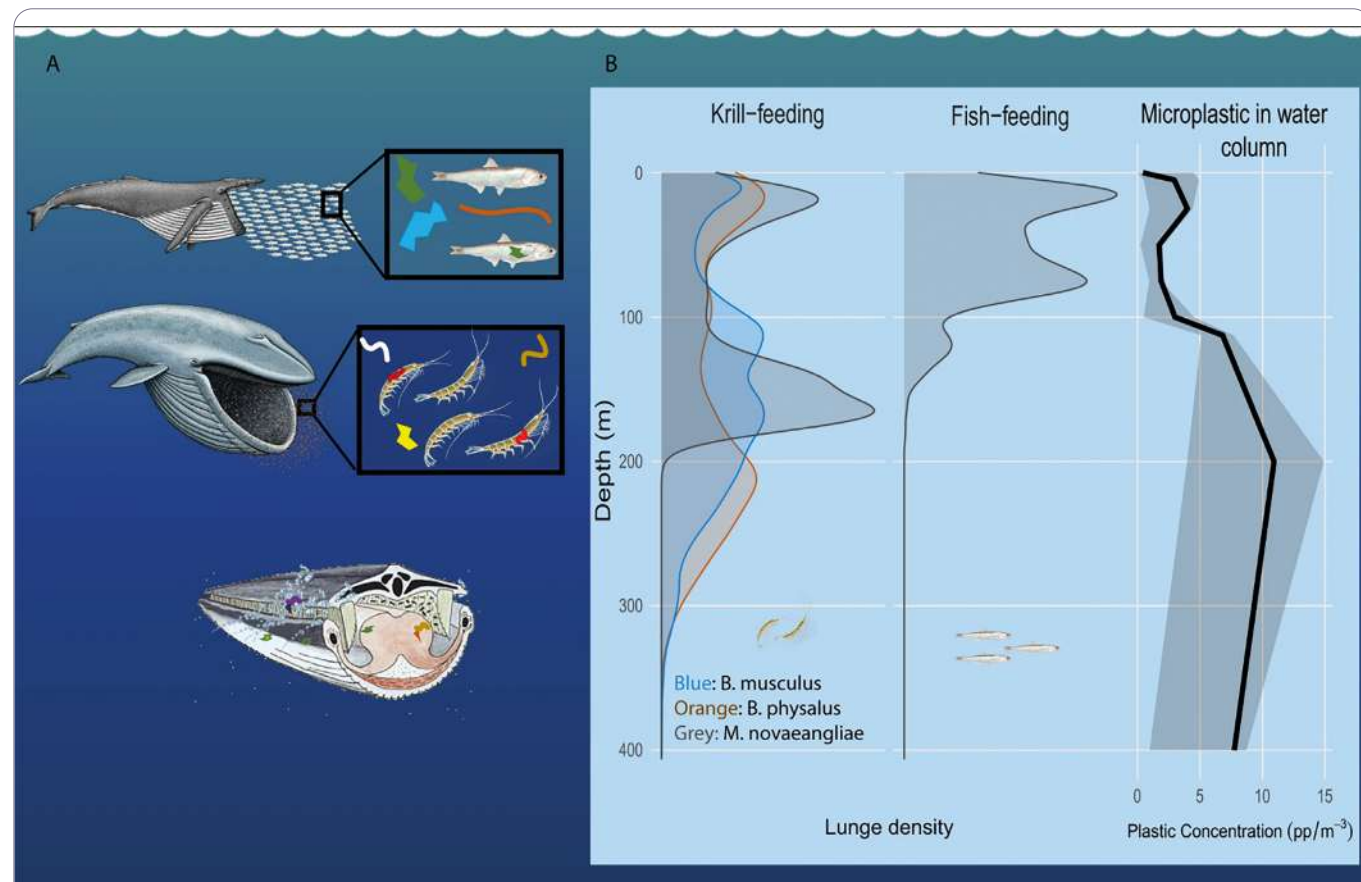
¹⁰⁰O'Hanlon, N. J., James, N. A., Masden, E. A. & Bond, A. L. Seabirds and marine plastic debris in the northeastern Atlantic: A synthesis and recommendations for monitoring and research. *Environmental Pollution* 231, 1291–1301 (2017). <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.08.101>

¹⁰¹Ocean Blue Project. Plastic Pollution in the Ocean: How Many Animals Die from Pollution? (2021)

<https://oceanblueproject.org/wp-content/uploads/2023/02/how-many-animals-die-from-plastic-pollution-ocean-blue-report.pdf>

¹⁰²Moore, C. J., Moore, S. L., Leecaster, M. K. & Weisberg, S. B. A Comparison of Plastic and Plankton in the North Pacific Central Gyre. *Marine Pollution Bulletin* 42, 1297–1300 (2001). [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(01\)00114-X](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(01)00114-X)

¹⁰³Kahane-Rapport, S. R. et al. Field measurements reveal exposure risk to microplastic ingestion by filter-feeding megafauna. *Nat Commun* 13, 6327 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41467-022-33334-5>



Larawan 25. Ang Lalim ng Paghahanap ng Balyena ng Minke bilang isang function ng Mga konsentrasyon Ng Microplastics ng Haligi ng Tubig.

a – Plastic na kinain ng mga balyena bawat araw, na namodelo bilang kabuuan ng (i) plastic na sinala mula sa tubig kada araw at (ii) plastic na natupok ng biktima bawat araw. Ang saklaw ng posibleng panganib sa pagkakalantad mula sa paglunok ng plastik ay mababa, katamtaman, at mataas, dahil ang ilang mga variable ay walang komprehensibong data;

b - Lalim ng tulak mula sa mga lokasyon ng Monterey Bay, na tumutugma sa depth profile ng mga konsentrasyon ng plastik sa Monterey Bay. Ang mga balyena at biktima ay inilarawan ni Alex Boersma, at ang cross-sectional diagram ng pagsasala ay inilarawan ni Scott Landry ng sentro ng pananaliksik sa baybayin.

Pinagmulan: Kahane-Rapport, S. R. et al. Ang mga pagsukat sa field ay nagpapakita ng panganib sa pagkakalantad sa microplastic ingestion sa pamamagitan ng filter-feeding megafauna. *Nat Commun* 13, 6327 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41467-022-33334-5>

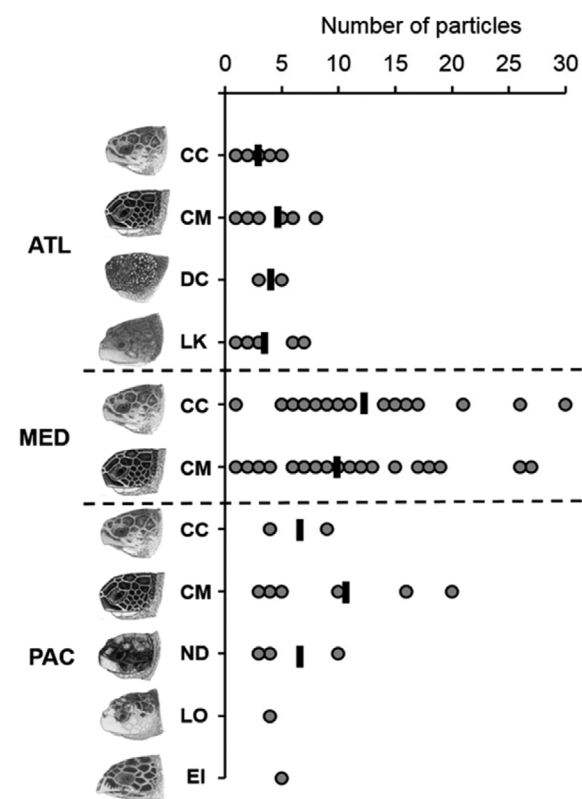


Larawan 26. Schematic na representasyon ng pagtagos ng plastik, sa food chain

Pinapatay ng plastik ang mga organismo sa dagat

Humigit-kumulang 1 milyong seabird at 100,000 marine mammal ang namamatay sa polusyon bawat taon.¹⁰⁴ Kinumpirma ng mga obserbasyon ang ugnayan sa pagitan ng naturok na mga labi at pagkamatay ng seabird. Nalaman ng isang pag-aaral sa 1,733 na ibon mula sa 51 uri ng hayop na 557 na ibon (32.1%) ang may marine debris sa loob ng mga ito, mula 1 hanggang 40 item, na may maximum na timbang na 3,340 mg at isang volume na 3,621 mm³.¹⁰⁵

Ipinapakita ng anecdotal na ebidensya na ang ilang plastik ay naglalabas ng dimethyl sulfide, isang kemikal na ginagaya ang olpactoryong signal na ginagamit ng mga seabird upang makilala ang pagkain.¹⁰⁶ Natuklasan din ng bagong pananaliksik na ang paglunok ng plastik ay nagdudulot ng pinsala sa bato, atay, at tiyan sa mga sisiw, pati na rin ang pinsala sa utak na katulad ng Alzheimer's disease. Itinatampok nito ang mapangwasak na epekto ng plastik na polusyon sa marine fauna.¹⁰⁷ Ang mga sintetikong particle ay natagpuan sa bawat indibidwal ng lahat ng pitong species ng pagong sa tatlong mga basin ng karagatan¹⁰⁸ (Larawan 27).



Larawan 27. Paglunok ng mga sintetikong microparticle ng lahat ng mga uri ng pawikan mula sa tatlong karagatan. Kabuuang bilang ng mga particle na natukoy sa bawat 100 mL subsample para sa bawat uri ng hayop sa bawat basin ng karagatan. Itim na linya: karaniwan na bilang ng butil. Mga bungo ng pawikan na ginamit nang may pahintulot mula sa WIDECAST; orihinal na mga guhit ni Tom McFarland.

Pinagmulan: Duncan, E. M. et al. Ang microplastic ingestion ay nasa lahat ng dako sa mga pawikan sa dagat. *pandaigdigang pagbabago biology* 25, 744–752 (2019). <https://doi.org/10.1111/gcb.14519>

¹⁰⁴WWF-Australia. How many birds die from plastic pollution? <https://www.wwf.org.au/blogs/how-many-birds-die-from-plastic-pollution>.

¹⁰⁵Roman, L., Hardesty, B. D., Hindell, M. A. & Wilcox, C. A quantitative analysis linking seabird mortality and marine debris ingestion. *Sci Rep* 9, 3202 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41598-018-36585-9>

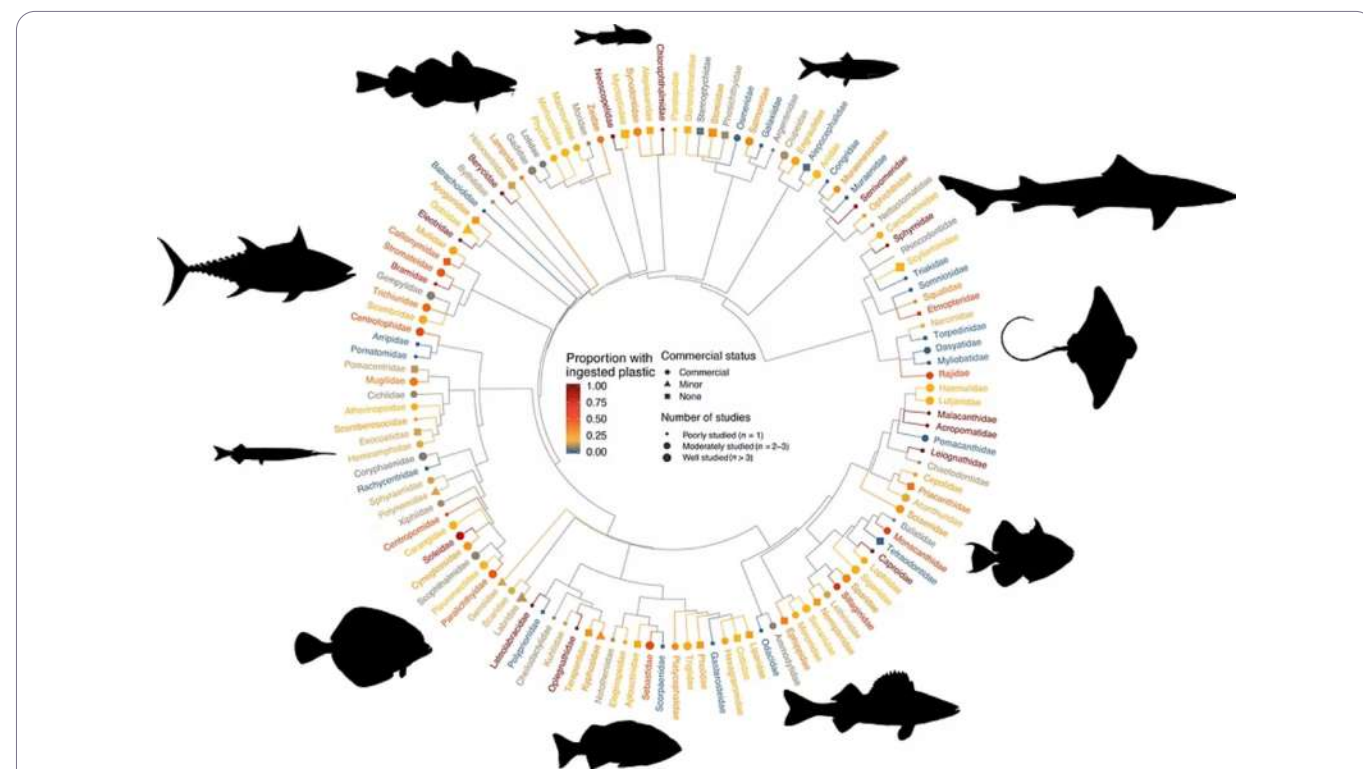
¹⁰⁶Savoca, M. S., Wohlfeil, M. E., Ebeler, S. E. & Nevitt, G. A. Marine plastic debris emits a keystone infochemical for olfactory foraging seabirds. *Sci. Adv.* 2, e1600395 (2016). <https://doi.org/10.1126/sciadv.1600395>

¹⁰⁷De Jersey, A. M. et al. Seabirds in crisis: Plastic ingestion induces proteomic signatures of multiorgan failure and neurodegeneration. *Sci. Adv.* 11, eads0834 (2025). <https://doi.org/10.1126/sciadv.ads0834>

¹⁰⁸Duncan, E. M. et al. Microplastic ingestion ubiquitous in marine turtles. *Global Change Biology* 25, 744–752 (2019). <https://doi.org/10.1111/gcb.14519>

Ang isang pag-aaral sa 171,774 na indibidwal mula sa 555 uri ng isda sa dagat ay nagpapakita na 386 uri ng isda sa dagat, kabilang ang 210 mahalaga sa komersyo, kumokonsumo ng mga plastic debris.¹⁰⁹ Ang saklaw ng microplastic ingestion ng isda ay natagpuan na 26%, na nagdodoble sa nakalipas na dekada (Larawan 28). Ang pagsusuri ay nagsiwalat ng isang positibong ugnayan sa pagitan ng kasaganaan ng plastik sa ibabaw ng tubig (Larawan 29) at ang pagkonsumo nito ng mga organismo sa dagat (Larawan 30).

Ipinapakita ng mga pag-aaral sa laboratoryo na ang mga plastic compound ay tumagos sa tissue ng isda, binabawasan ang aktibidad, nakakagambala sa paggana ng atay, nakakapinsala sa utak, at nagpapabagal sa paglaki at nakakapinsala sa reproductive function^{109, 110, 111}.



Larawan 28. Pamilya ng isda at paglunok ng plastik.

Mga ugnayang phylogenetic ng mga pamilya ng isda sa dagat (n=131), na kinulayan ng dalas ng paglunok ng plastik. Ang mga hugis ng bawat tip ay nagsasaad ng proporsyon ng mga species sa loob ng pamilya sa dataset na komersyal na pinangingisda (0 = walang komersyal na isda na uri; minor = 25% ng komersyal na isda na uri; komersyal = >25% ng komersyal na isda na uri). Ang laki ng tip ay nagpapakiwatig ng bilang ng mga pag-aaral na isinagawa sa mga uri sa pamilyang iyon. Itinatampok nito ang 15 pamilya na pinag-aralan nang mabuti (n > 10 indibidwal, > 2 mga uri) na may mataas na dalas ng paglunok ng plastik (FO plastic > 0.25); 67 sa mga pamilyang ito na may mga rekord ng paglunok ng plastik ay pangkomersiyo din.

Pinagmulan: Savoca, M. S., McInturf, A. G. & Hazen, E. L. Ang plastic na paglunok ng isda sa dagat ay laganap at dumarami. *pandaigdigang pagbabago biology* 27, 2188–2199 (2021). <https://doi.org/10.1111/gcb.15533>

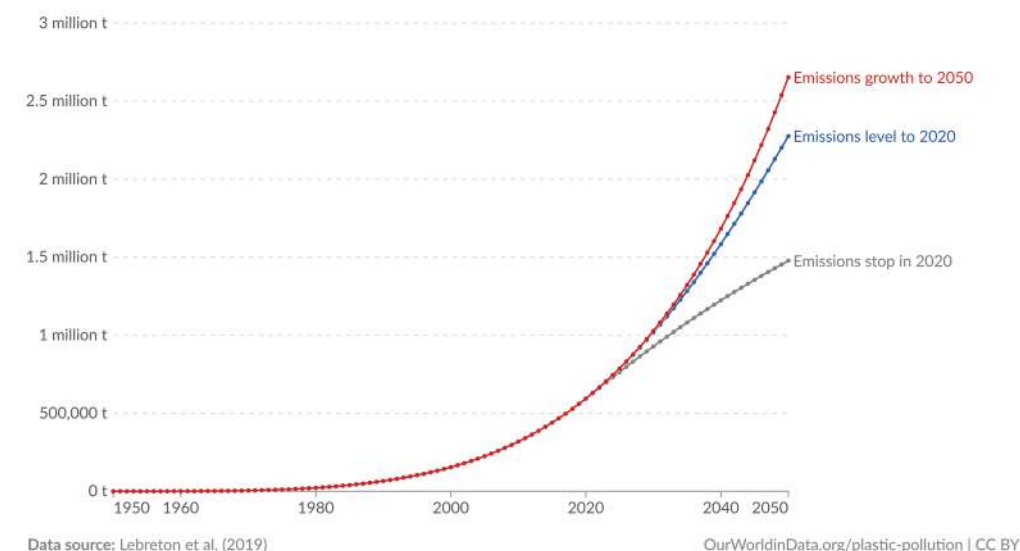
¹⁰⁹Savoca, M. S., McInturf, A. G. & Hazen, E. L. Plastic ingestion by marine fish is widespread and increasing. *Global Change Biology* 27, 2188–2199 (2021). <https://doi.org/10.1111/gcb.15533>

¹¹⁰Nanthini devi, K., Raju, P., Santhanam, P. & Perumal, P. Impacts of microplastics on marine organisms: Present perspectives and the way forward. *Egyptian Journal of Aquatic Research* 48, 205–209 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2022.03.001>

¹¹¹Avio, C. G., Gorbi, S. & Regoli, F. Experimental development of a new protocol for extraction and characterization of microplastics in fish tissues: First observations in commercial species from Adriatic Sea. *Marine Environmental Research* 111, 18–26 (2015). <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2015.06.014>

Microplastics in the surface ocean, 1950 to 2050

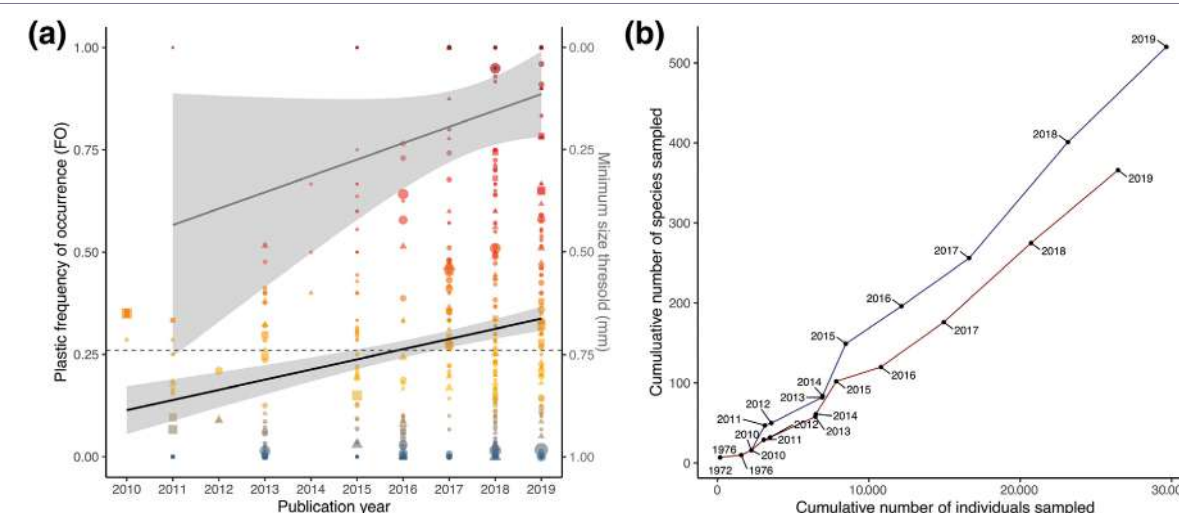
Microplastics are buoyant plastic materials smaller than 0.5 centimeters in diameter. Future global accumulation in the surface ocean is shown under three plastic emissions scenarios: (1) emissions to the oceans stop in 2020; (2) stagnate at 2020 rates; or (3) continue to grow until 2050 in line with historical plastic production rates.



Larawan 29. Inaasahang paglago ng microplastics sa ibabaw ng karagatan hanggang 2050.

Pinagmulan: <https://ourworldindata.org/grapher/microplastics-in-ocean> (Na-access noong 01.05.2025)

Pinagmulan ng data: Lebreton, L., Egger, M. & Slat, B. Isang pandaigdigang badyet ng masa para sa positibong buoyant na macroplastic debris sa karagatan. *Sci Rep* 9, 12922 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-49413-5>



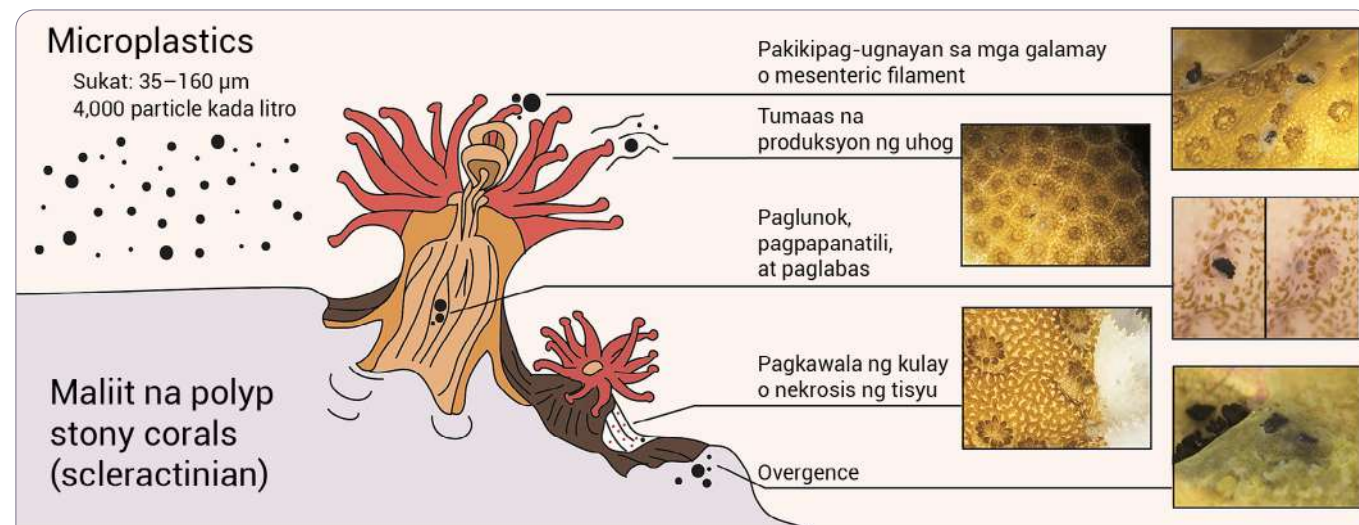
Larawan 30. Mga temporal na uso sa paglunok ng plastik ng isda.

(a) Ang upper gray na linya ay nagpapakiwatig na nagkaroon ng uso patungo sa mas maliit at mas maliliit na particle na natukoy mula noong 2011. Ipinapakita ng lower black line ang pagtaas ng plastik na dalas ng paglitaw (FO) sa lahat ng uri ng hayop ng isda mula 2010 hanggang 2019. Sa panahong ito, ang dalas ng paglunok ng plastik ay tumaas nang malaki sa rate na 2.4% bawat taon. Ang pahalang na tuldok na linya ay kumakatawan sa isang FO na 0.26, ang karaniwan na dalas ng plastic na paglunok ng isda sa buong mundo. (b) kurba ng akumulasyon ng mga uri ng hayop, kung saan ang asul na linya ay nagpapakiwatig ng pinagsama-samang bilang ng mga uri ng hayop na pinag-aralan sa paglipas ng panahon, kabilang ang mga uri ng hayop na natukoy na may at walang natusok na plastic, at ang pulang linya ay naglalarawan lamang ng mga uri ng hayop na may plastic na paglunok. Ang kawalan ng asymptote sa pulang linya ay nagpapakiwatig ng mataas na posibilidad na ang mga karagdagang uri ng hayop ay patuloy na lalabas upang makain ng plastic sa mga darating na taon. Pinagmulan: Savoca, M. S., McInturf, A. G. & Hazen, E. L. Ang plastic na paglunok ng marine fish ay laganap at dumarami. *Pandaigdigang pagbabago biology* 27, 2188–2199 (2021). <https://doi.org/10.1111/gcb.15533>

Inaatake ang mga koraless: isang pandaigdigang microthreat

Ang plastik na polusyon ay nagdudulot ng lumalaking banta sa mga coral reef sa pamamagitan ng pagtagos sa kanilang mga kadena ng pagkain at pagtaas ng pagkalat ng mga sakit at pagkasira ng istruktura ng komunidad ng bahura. Tinukoy ng pagsusuri ang mga anthropogenic na labi sa 77 sa 84 na reef na pinag-aralan, kabilang ang mga nakahiwalay na atoll sa gitnang Pasipiko¹¹². Ang mga negatibong epekto sa kalusugan¹¹³ tulad ng bleaching at tissue necrosis ay naitala sa lima sa anim na uri ng hayop na pinag-aralan¹¹⁴ (Larawan 31).

Ang mas malalaking plastic fragment ay nagpapadali sa paghahatid ng sakit at pisikal na pinsala, na nagpapataas ng kahinaan ng mga koraless sa mga pathogen¹¹⁵. Ang mga epektong ito ay nakakaapekto sa skeletal microbiome, na gumaganap ng isang mahalagang papel sa pagpapanatili ng kalusugan ng mga kolonya ng coral¹¹⁶ (Larawan 32). Ipinapakita rin ng pananaliksik na ang mga biofilm sa microplastics, na kilala bilang “plastispheres”¹¹⁴, ay maaaring magdulot ng dysbiosis sa coral microbiome¹¹⁷. Kapag na-expose sa plastic, ang panganib ng sakit sa coral ay tumataas mula 4 hanggang 89% (Larawan 33). Ang pagkawala ng mga coral reef ay may malaking epekto sa pagkawala ng biodiversity, dahil nagbibigay sila ng tirahan para sa isang-kapat ng uri ng dagat¹¹⁵.



Larawan 31. Mga epekto ng plastic sa kalusugan ng coral reef.

Ang mga koraless ay maaaring tumugon sa mga plastic na particle sa pamamagitan ng iba't ibang mekanismo ng pag-scavenging (hal. ciliation, produksyon ng uhog, o pagpapalawak ng tissue), pagpapanatili ng butil sa pamamagitan ng paglaki, o paglabas ng mga maling naturok na particle.

Pinagmulan: Reichert, J., Schellenberg, J., Schubert, P. & Wilke, T. Mga tugon ng reef building corals sa pagkakalantad sa microplastics. *Polusyon sa Kapaligiran* 237, 955–960 (2018). <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.11.006>

¹¹²Pinheiro, H. T. et al. Plastic pollution on the world's coral reefs. *Nature* 619, 311–316 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06113-5>

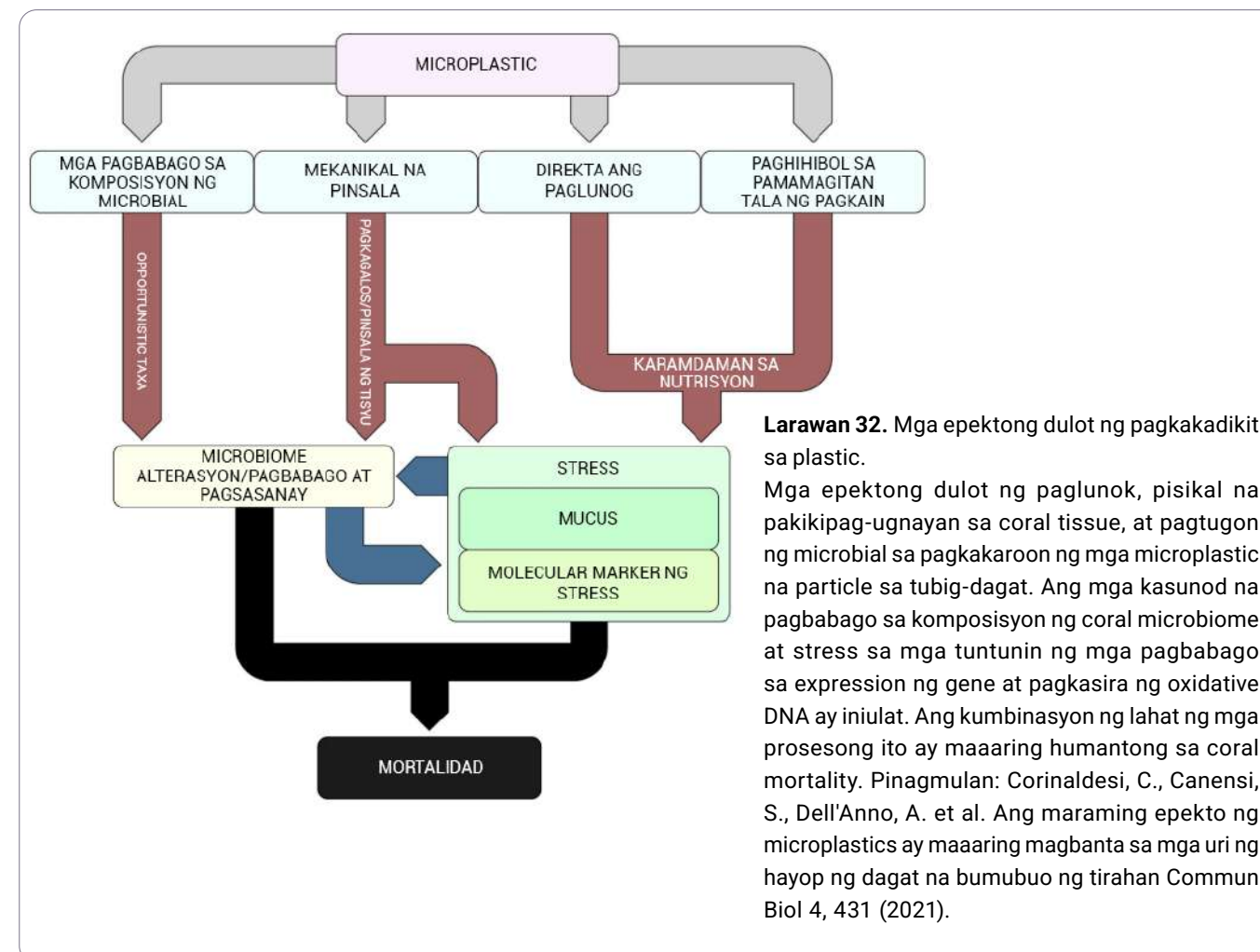
¹¹³Reichert, J., Schellenberg, J., Schubert, P. & Wilke, T. Responses of reef building corals to microplastic exposure. *Environmental Pollution* 237, 955–960 (2018). <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.11.006>

¹¹⁴Pantos, O. Microplastics: impacts on corals and other reef organisms. *Emerging Topics in Life Sciences* 6, 81–93 (2022). <https://doi.org/10.1042/ETLS20210236>

¹¹⁵Lamb, J. B. et al. Plastic waste associated with disease on coral reefs. *Science* 359, 460–462 (2018). <https://doi.org/10.1126/science.aar3320>

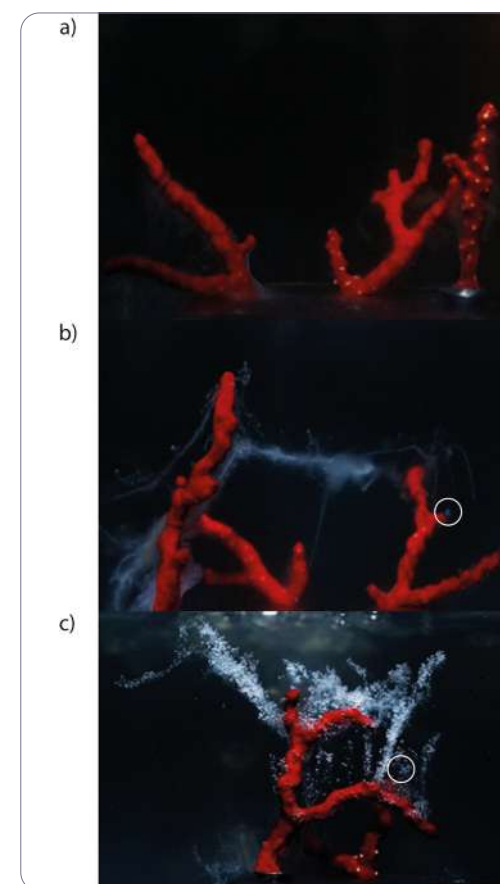
¹¹⁶Corinaldesi, C., Canensi, S., Dell'Anno, A. et al. Multiple impacts of microplastics can threaten marine habitat-forming species. *Commun Biol* 4, 431 (2021). <https://doi.org/10.1038/s42003-021-01961-1>

¹¹⁷Lear, G., Kingsbury, J.M., Franchini, S. et al. Plastics and the microbiome: impacts and solutions. *Environmental Microbiome* 16, 2 (2021). <https://doi.org/10.1186/s40793-020-00371-w>



Larawan 32. Mga epektong dulot ng pagkakadikit sa plastic.

Mga epektong dulot ng paglunok, pisikal na pakikipag-ugnayan sa coral tissue, at pagtugon ng microbial sa pagkakaroon ng mga microplastic na particle sa tubig-dagat. Ang mga kasunod na pagbabago sa komposisyon ng coral microbiome at stress sa mga tuntunin ng mga pagbabago sa expression ng gene at pagkasira ng oxidative DNA ay iniulat. Ang kumbinasyon ng lahat ng mga prosesong ito ay maaaring humantong sa coral mortality. Pinagmulan: Corinaldesi, C., Canensi, S., Dell'Anno, A. et al. Ang maraming epekto ng microplastics ay maaaring magbanta sa mga uri ng hayop ng dagat na bumubuo ng tirahan *Commun Biol* 4, 431 (2021).



Larawan 33. Tumataas ang pagtatago ng uhog sa pagtaas ng konsentrasyon ng mga microplastic na particle.

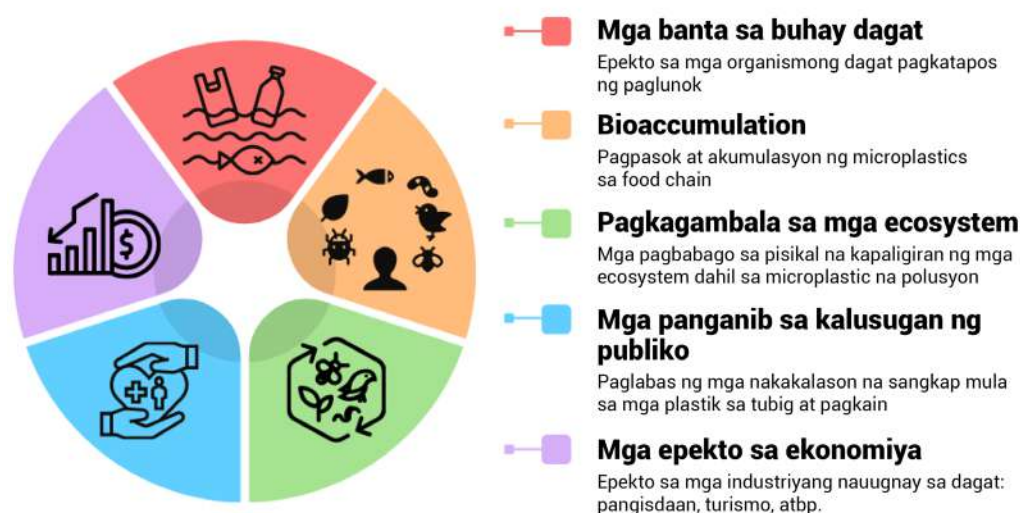
a – Mababa, b – daluyan at c – mataas na konsentrasyon ng mga microplastic na particle. Ang pagtatago ng uhog ay tumataas sa pagtaas ng konsentrasyon ng mga microplastic na particle. Ang mga puting bilog ay kumakatawan sa mga microplastic na particle na nakakulong sa mucus (polyethylene particles).

Corinaldesi, C., Canensi, S., Dell'Anno, A. et al. Ang maraming epekto ng microplastics ay maaaring magbanta sa mga uri ng hayop dagat na bumubuo ng tirahan. *Commun Biol* 4, 431 (2021). <https://doi.org/10.1038/s42003-021-01961-1>

Ang epekto ng mga MNP sa balanse ng oxygen ng mga ecosystem

Ang mga obserbasyon ay nagpapakita na ang plastik sa kapaligiran ay nabubulok pangunahin ng solar radiation. Binabago ng prosesong ito ang komposisyon at istraktura ng kemikal nito. Kinumpirma ng mga pag-aaral na ang mga reaksiyon na dulot ng sikat ng araw ay nagpapahusay sa pag-leaching ng mga dissolved organic compound, na nakakaapekto sa biogeochemistry ng tubig-dagat at pinasisigla ang paglaki ng heterotrophic bacteria¹¹⁸ (Larawan 34).

Mga banta mula sa microplastics sa kapaligiran ng dagat



Larawan 34. Mga banta na dulot ng marine microplastics.

Pinagmulan: Yu, R.-S. & Singh, S. Microplastic Pollution: Mga Banta at Epekto sa Pandaigdigang Marine Ecosystem. Pagpapanatili 15, 13252 (2023). <https://doi.org/10.3390/su151713252>

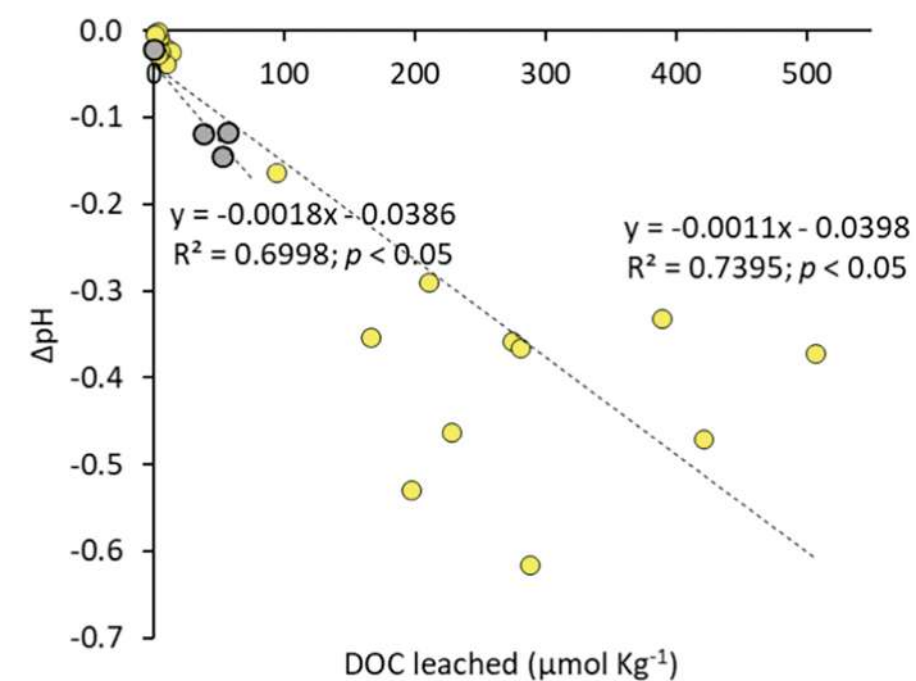
Ang pangmatagalang pananaliksik ay nagpapakita na ang mga kemikal na inilalabas ng plastik sa tubig-dagat habang ito ay nabubulok ay nagmumula sa mismong materyal o mula sa mga additives na ginagamit upang magbigay ng kulay o katatagan sa polimer. Ang ilan sa mga compound na ito ay mga organic na acid, na nagpapaliwanag ng kanilang papel sa pagpapababa ng pH. Sa gayon, pinapataas ng plastik ang pag-aasido ng karagatan (Larawan 35), na maaaring makabuluhang makagambala sa paggana ng mga natural na sistema ng Earth¹¹⁹.

¹¹⁸Yu, R.-S. & Singh, S. Microplastic Pollution: Threats and Impacts on Global Marine Ecosystems. Sustainability 15, 13252 (2023).

<https://doi.org/10.3390/su151713252>

¹¹⁹Romera-Castillo, C. et al. Abiotic plastic leaching contributes to ocean acidification. Science of The Total Environment 854, 158683 (2023).

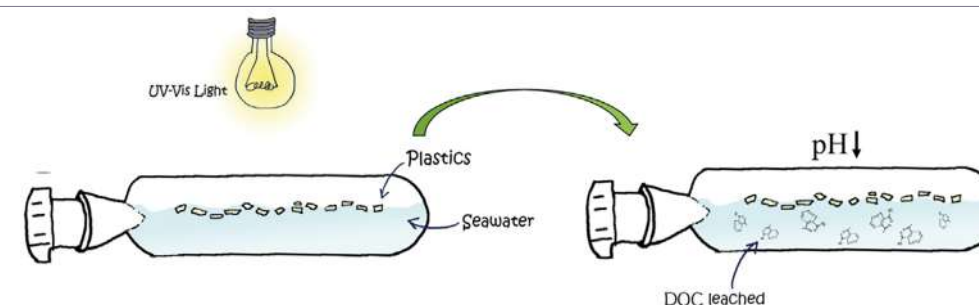
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158683>



Larawan 35. Mga ugnayan sa pagitan ng pagbabago ng pH at DOC na na-leach mula sa plastic na naka-plot para sa bawat indibidwal na gayahin na sample sa lahat ng mga eksperimento. Kasama rin ang mga walang plastic na kontrol para sa bawat eksperimento. Ang mga dilaw na tuldok ay kumakatawan sa mga irradiated na paggamot at ang mga kulay abong tuldok ay kumakatawan sa mga madilim na paggamot.

Pinagmulan: Romera-Castillo, C. et al. Ang abiotic na plastic leaching ay nakakatulong sa pag-aasido ng karagatan. agham ng kabuuang kapaligiran 854, 158683 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158683>

“Sa pag-aaral na ito, naipakita namin na sa mga lugar sa ibabaw ng karagatan na labis na nadudumihan ng plastik, ang pagkasira ng plastik ay hahantong sa pagbaba sa mga antas ng pH na hanggang 0.5 na mga yunit, na maihahambing sa pagbaba ng pH na inaasahan sa ilalim ng pinakamasamang sitwasyon ng mga anthropogenic emissions sa pagtatapos ng ika-21 siglo,” sabi ng Cristoina a Marine-Castillo Institute. (ICM-CSIC) (Larawan 36)¹²⁰.



Larawan 36. Maaaring bawasan ng plastic leaching ang pH ng tubig-dagat ng hanggang 0.5 units.

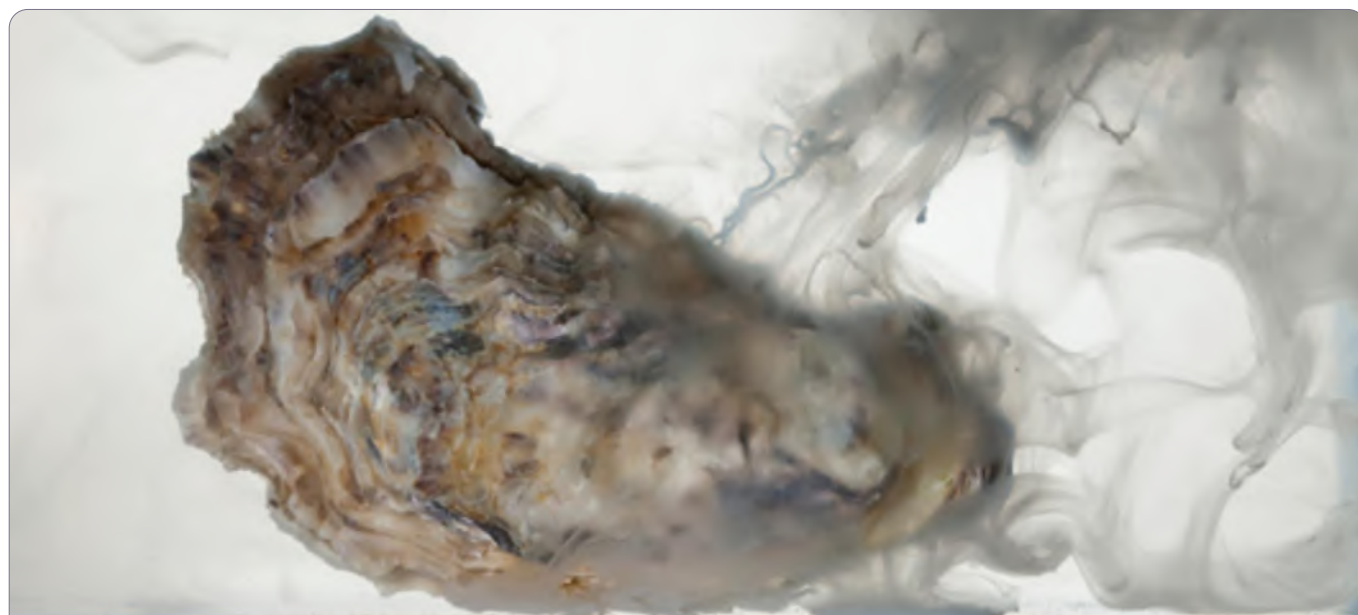
Pinagmulan: Romera-Castillo, C. et al. Ang abiotic na plastic leaching ay nakakatulong sa pag-aasido ng karagatan. agham ng kabuuang kapaligiran 854, 158683 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158683>

¹²⁰Institute of Marine Sciences (ICM-CSIC). Plastic degradation in the ocean contributes to its acidification. <https://www.icm.csic.es/en/news/plastic-degradation-ocean-contributes-its-acidification> (Accessed May 1, 2025)

Ang pag-aasido ng karagatan ay isang kaguluhan sa mga kondisyon ng kapaligiran sa dagat, isang patuloy at pagtaas ng presyon sa kapaligiran¹²¹. Ang mga kahihinatnan para sa mga ecosystem ay tumatagal ng mga dekada, siglo, at mas matagal pa. Kinumpirma ng mga obserbasyon ang pagbawas ng biodiversity sa mga coastal system dahil sa pagbaba ng pH^{122,123}. Binabawasan nito ang katatagan ng ecosystem, na nagbabanta sa kanilang mga function, kabilang ang tirahan, nutrient cycling, at imbakan ng carbon¹²³.

Ipinapakita ng pananaliksik na ang mga tahong (*Mytilus edulis*) ay lumalaki nang mas mabagal at hindi gaanong nabubuhay sa ilalim ng pag-aasido ng karagatan (Larawan 37). Binabawasan nito ang kanilang mga bilang, na nagpapababa sa kanilang kakayahang magsala ng tubig at mapanatili ang kalidad ng kapaligiran sa baybayin¹²⁴.

Ang kasalukuyang mga halaga ng pH sa ibabaw ng karagatan ay hindi pa nagagawa nang hindi bababa sa huling 26,000 taon¹²⁵. Ang prosesong ito ay may malaking epekto sa mga coral reef, malalim na dagat at mataas na latitude ecosystem, na umaasa sa mga natatanging uri ng hayop. Ang mga uri ng hayop na ito ay gumaganap ng isang hindi mapapalitang papel, at ang kanilang pagkawala ay nakakagambala sa mga pangunahing pag-andar ng ecosystem dahil walang mga kapalit¹²⁶.



Larawan 37. Ang isang Pacific oyster ay naglalabas ng maputik na tamud sa Whiskey Creek Oyster Hatchery sa Oregon. Sa ilang tubig sa baybayin, ang acidification ay umabot na sa matinding antas; dito, binawasan nito ng kalahati ang produksyon sa pamamagitan ng pagpapabagal sa paglaki ng oyster larvae.

Pinagmulan: <https://www.nationalgeographic.com/magazine/article/ocean-acidification>

¹²¹Scott C. Doney, D. Shallin Busch, Sarah R. Cooley and Kristy J. Kroeker. The Impacts of Ocean Acidification on Marine Ecosystems and Reliant Human Communities. Annual Review of Environment and Resources 45, 83–112 (2020). <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-012320-083019>

¹²²Hall-Spencer, J. M. & Harvey, B. P. Ocean acidification impacts on coastal ecosystem services due to habitat degradation. Emerging Topics in Life Sciences 3, 197–206 (2019). <https://doi.org/10.1042/ETLS20180117>

¹²³James P. Barry, Stephen Widdicombe, and Jason M. Hall-Spencer. Effects of ocean acidification on marine biodiversity and ecosystem function. Ocean acidification, edited by Jean-Pierre Gattuso, Lina Hansson. Oxford, Oxford University Press, 2011. <https://books.google.com.ua/books?id=8yjNFxkALjIC&pg=PA192>

¹²⁴Broszeit, S., Hattam, C. & Beaumont, N. Bioremediation of waste under ocean acidification: Reviewing the role of *Mytilus edulis*. Marine Pollution Bulletin 103, 5–14 (2016). <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.12.040>

¹²⁵The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1> (Accessed May 1, 2025).

¹²⁶James P. Barry, Stephen Widdicombe, and Jason M. Hall-Spencer. Effects of ocean acidification on marine biodiversity and ecosystem function. Ocean acidification, edited by Jean-Pierre Gattuso, Lina Hansson. Oxford, Oxford University Press, 2011. <https://books.google.com.ua/books?id=8yjNFxkALjIC&pg=PA192>

Ang mga talaba at tahong ay kapansin-pansing bumababa sa mga gradient ng pagbaba ng carbonate saturation. Maaaring mabawasan ng pag-aasido ng karagatan ang kasaganaan ng oyster at ang mga serbisyo ng ecosystem na ibinibigay nila sa ligaw; maaari din nitong bawasan ang kanilang kalidad bilang pagkaing-dagat.

Naidokumento ng pananaliksik ang makabuluhang negatibong epekto ng microplastics sa mga biological na parameter ng microalgae¹²⁷, kabilang ang paglaki, nilalaman ng chlorophyll, aktibidad ng photosynthetic, at mga antas ng reaktibong mga uri ng hayop ng oxygen^{128, 129}.

Ayon sa pag-aaral, ang pagkakalantad ng MP ay nagreresulta sa isang pandaigdigang pagbawas ng photosynthesis ng 7.05–12.12% sa dagat at tubig-tabang algae¹³⁰. Ang photosynthesis ay kilala bilang pangunahing proseso sa lupa na gumagawa ng molecular oxygen (O₂), na inilalabas sa atmospera.

Bilang karagdagan, ang microplastics sa mga sediment ng dagat ay nagbabago ng mga microbial na komunidad at nakakagambala sa nitrogen cycling, na posibleng magpapalala sa mga problemang dulot ng tao tulad ng mga nakakalason na pamumulaklak ng algal. Ang mga pagbabago sa mga komunidad ng plankton sa ibabaw ng karagatan ay maaaring magpalala ng deoxygenation (pagbaba ng dami ng oxygen sa tubig), pag-alis ng oxygen sa mga organismong dagat¹³¹.

Ipinapakita ng data na sa pagitan ng 1960 at 2010, ang karagatan ay nawalan ng 2% ng natunaw na oxygen nito dahil sa tumataas na temperatura ng tubig at ang akumulasyon ng mga pollutant, kabilang ang pang-industriya, domestic at agricultural runoff¹³². Ang pagkawala ng oxygen ay humahantong sa pagbuo ng mga patay na zone - mga lugar ng karagatan kung saan halos nawala ang mga buhay dagat. Ipinakikita ng mga obserbasyon na noong 1960s, mayroong 45 dead zone sa mga karagatan sa mundo, habang noong 2011, ang kanilang bilang ay tumaas sa humigit-kumulang 700¹³³. Ayon sa datos na inilathala sa UNDP website, ang bilang ng mga dead zone ay dumoble bawat dekada mula noong 1960s. Batay sa trend na ito, malaki ang posibilidad na ang kanilang bilang ay maaaring umabot sa 1,500 pagsapit ng 2025¹³⁴.

Ang plastik na polusyon ay nakakaapekto sa maraming proseso sa sistema ng Earth. Ayon sa pag-aaral, maaari nitong palalain ang mga matitinding isyu sa kapaligiran gaya ng pagkawala ng biodiversity at pagbabago ng klima¹³⁵.

¹²⁷Nanthini devi, K., Raju, P., Santhanam, P. & Perumal, P. Impacts of microplastics on marine organisms: Present perspectives and the way forward. Egyptian Journal of Aquatic Research 48, 205–209 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2022.03.001>

¹²⁸Wu, Y. et al. Effect of microplastics exposure on the photosynthesis system of freshwater algae. Journal of Hazardous Materials 374, 219–227 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.04.039>

¹²⁹Sarkar, P., Xavier, K. A. M., Shukla, S. P. & Rathu Bhuvaneswari, G. Nanoplastic exposure inhibits growth, photosynthetic pigment synthesis and oxidative enzymes in microalgae: A new threat to primary producers in aquatic environment. Journal of Hazardous Materials Advances 17, 100613 (2025). <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2025.100613>

¹³⁰Zhu, R. et al. A global estimate of multiccosystem photosynthesis losses under microplastic pollution. Proceedings of the National Academy of Sciences 122, e2423957122 (2025). <https://doi.org/10.1073/pnas.2423957122>

¹³¹Microplastics pose risk to ocean plankton, climate, other key Earth systems. Mongabay. (2023) <https://news.mongabay.com/2023/10/microplastics-pose-risk-to-ocean-plankton-climate-other-key-earth-systems> (Accessed May 1, 2025)

¹³²Bhuiyan, M. M. U. et al. Oxygen declination in the coastal ocean over the twenty-first century: Driving forces, trends, and impacts. Case Studies in Chemical and Environmental Engineering 9, 100621 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.100621>

¹³³The International Union for Conservation of Nature (IUCN). Ocean deoxygenation. <https://iucn.org/resources/issues-brief/ocean-deoxygenation> (Accessed May 1, 2025)

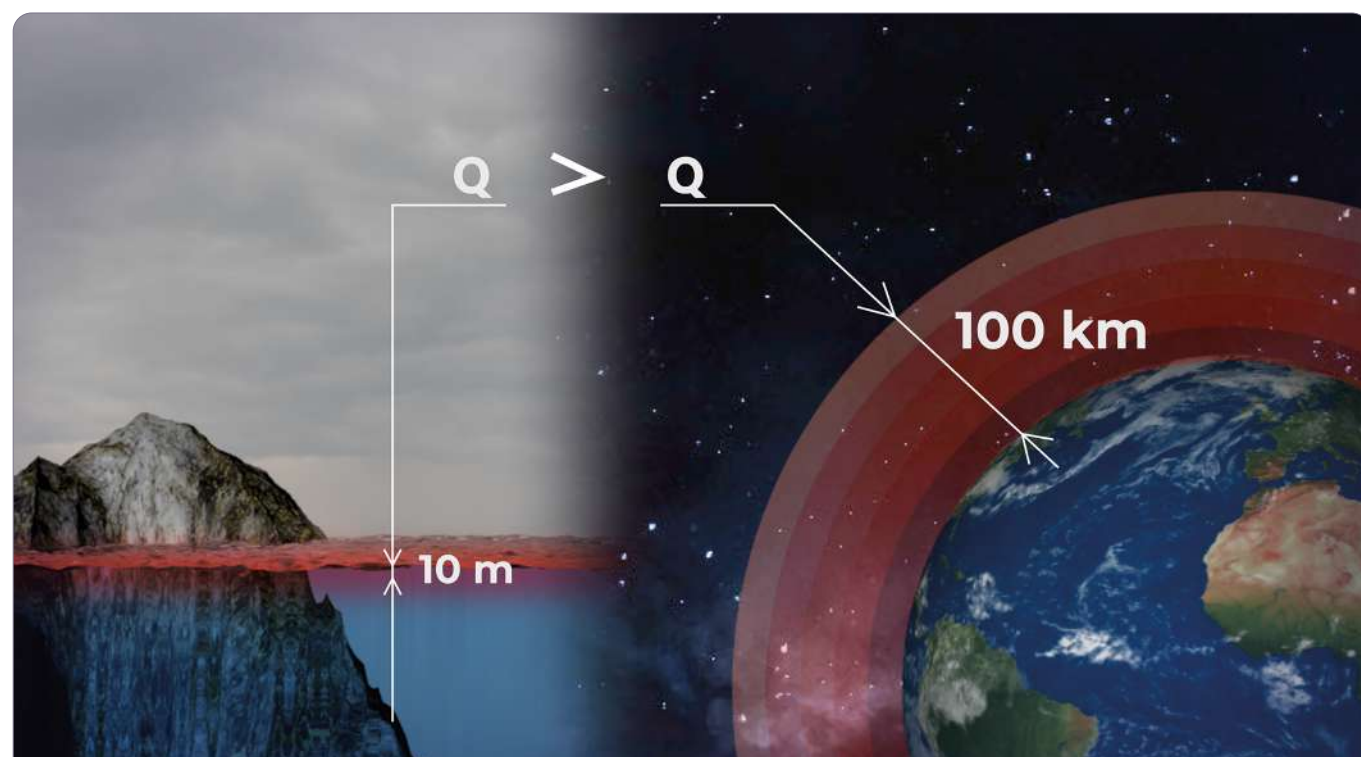
¹³⁴United Nations Development Programme. Ocean hypoxia: Dead zones. <https://www.undp.org/publications/issue-brief-ocean-hypoxia-dead-zones> (Accessed May 1, 2025)

¹³⁵Villarrubia-Gómez, P., Carney Almroth, B., Eriksen, M., Ryberg, M. & Cornell, S. E. Plastics pollution exacerbates the impacts of all planetary boundaries. One Earth 7, 2119–2138 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2024.10.117>

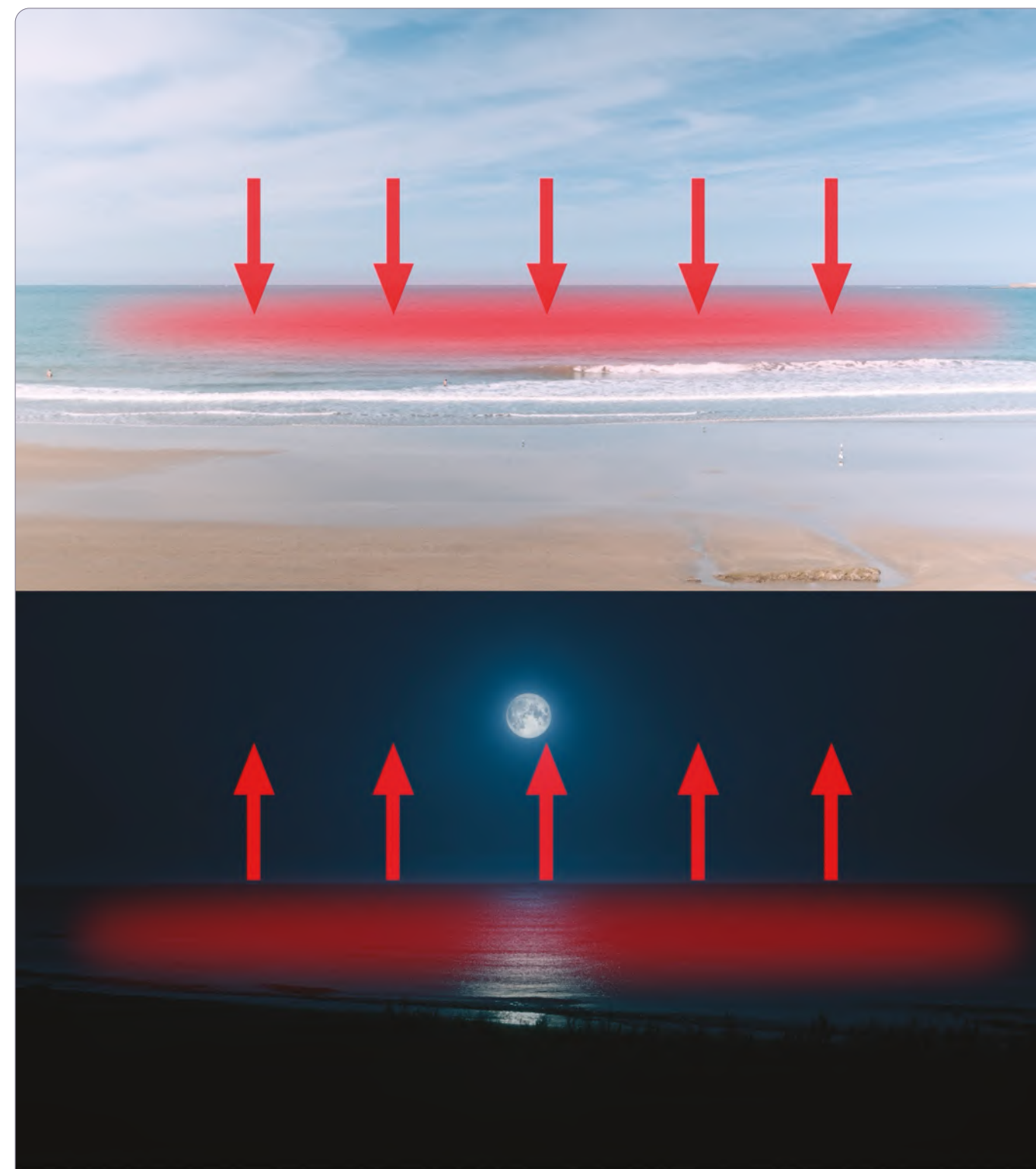
ANG EPEKTO NG KARAGATAN SA KLIMA

Mga Pag-andar ng Karagatan

Ang karagatan ay gumaganap ng isang mahalagang papel sa pagpapanatili ng klimatiko na ekwilibriyo ng planeta, na kumikilos bilang isang natural na "air conditioner." Ang natatanging kakayahan nitong mag-ipon at unti-unting maglabas ng init ay nakakatulong sa katamtamang pagbabago ng temperatura sa planeta. Ang isang sampung metrong patong lamang ng tubig sa karagatan ay maaaring sumipsip ng higit na init kaysa sa buong kapaligiran ng Daigdig (Larawan 38). Binabawasan nito ang mga pagkakaiba sa temperatura kapwa sa araw at gabi (Larawan 39), at pana-panahon - sa tag-araw at taglamig.



Larawan 38. Schematic na representasyon ng paghahambing na kapasidad ng init ng karagatan at ng atmospera: sa kabila ng mas maliit na masa ng hangin, ang karagatan ay nakakaipon at nakakapagpanatili ng sampu-sampung beses na mas init, na gumaganap ng mahalagang papel sa **pagsasaayos ng klima ng Lupa**



Larawan 39. Schematic na representasyon ng araw-araw na palitan ng init: ang karagatan ay sumisipsip ng init sa araw at naglalabas nito sa gabi, pinapakinis ang mga pagkakaiba sa temperatura ng hangin

Ang mga alon ng karagatan ay nagdadala ng mainit na tubig mula sa tropiko hanggang sa mas malamig na mga rehiyon, halimbawa, sa hilagang latitude. Ito ay nakakatulong upang maging katamtaman ang klima sa mga coastal zone. Ang malamig na agos, sa kabaligtaran, ay nagbabalik ng pinalamig na tubig pabalik sa ekwador. Sa ganitong paraan, kinokontrol ng karagatan ang klima sa planeta.

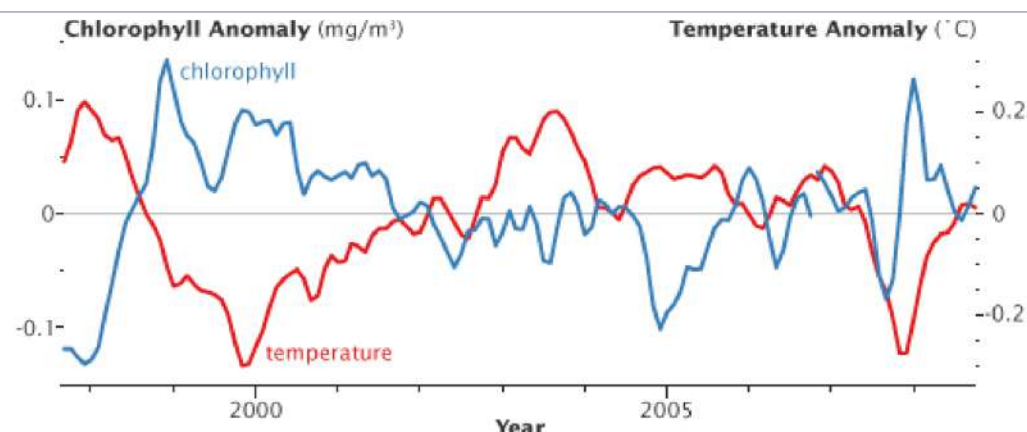
Ang karagatan ay may malaking epekto sa mga proseso ng atmospera, na gumaganap ng mahalagang papel sa pagbuo ng mga ulap at pag-ulan. Araw-araw, ang isang malaking halaga ng tubig ay sumingaw mula sa ibabaw nito, na pagkatapos ay namumuo sa mga ulap at bumalik sa lupa bilang ulan o niyebe. Ang prosesong ito ay mahalaga para sa muling pagdadagdag ng mga yamang tubig ng mga ilog, lawa at lupa ng sariwang tubig.

Ang microscopic algae sa karagatan, tulad ng phytoplankton (Larawan 40), ay gumagawa ng higit sa 50% ng oxygen¹³⁶. Maraming mga modelo ng kimika at biology ng karagatan ang hinuhulaan na habang umiinit ang ibabaw ng karagatan bilang tugon sa pagtaas ng mga greenhouse gas sa atmospera, bababa ang produktibidad ng phytoplankton^{137, 138} (Larawan41).



Larawan 40. Ang phytoplankton ay lubhang magkakaibang, mula sa photosynthetic bacteria (cyanobacteria) hanggang sa mga diatom na tulad ng halaman at shelled coccolithophores (mga figure na hindi sukat). (Inangkop ang collage mula sa mga drawing at photomicrograph ni Sally Bensusen, NASA EOS opisina ng agham ng proyekto.)

Pinagmulan: NASA. Ano ang Phytoplankton? <https://earthobservatory.nasa.gov/features/Phytoplankton>



Larawan 41. Humigit-kumulang 70% ng karagatan ay permanenteng pinagsasapin-sapin sa mga layer na hindi maganda ang paghahalo. Sa pagitan ng huling bahagi ng 1997 at kalagitnaan ng 2008, napagmasdan ng mga satellite na ang mas mainit kaysa sa Karaniwan na temperatura (pulang linya) ay nagresulta sa mas mababa sa Karaniwan na mga konsentrasyon ng chlorophyll (asul na linya) sa mga rehiyong ito. (Graph na hinango mula sa Behrenfeld et al. 2009 ni Robert Simmon).

Pinagmulan: <https://earthobservatory.nasa.gov/features/Phytoplankton>

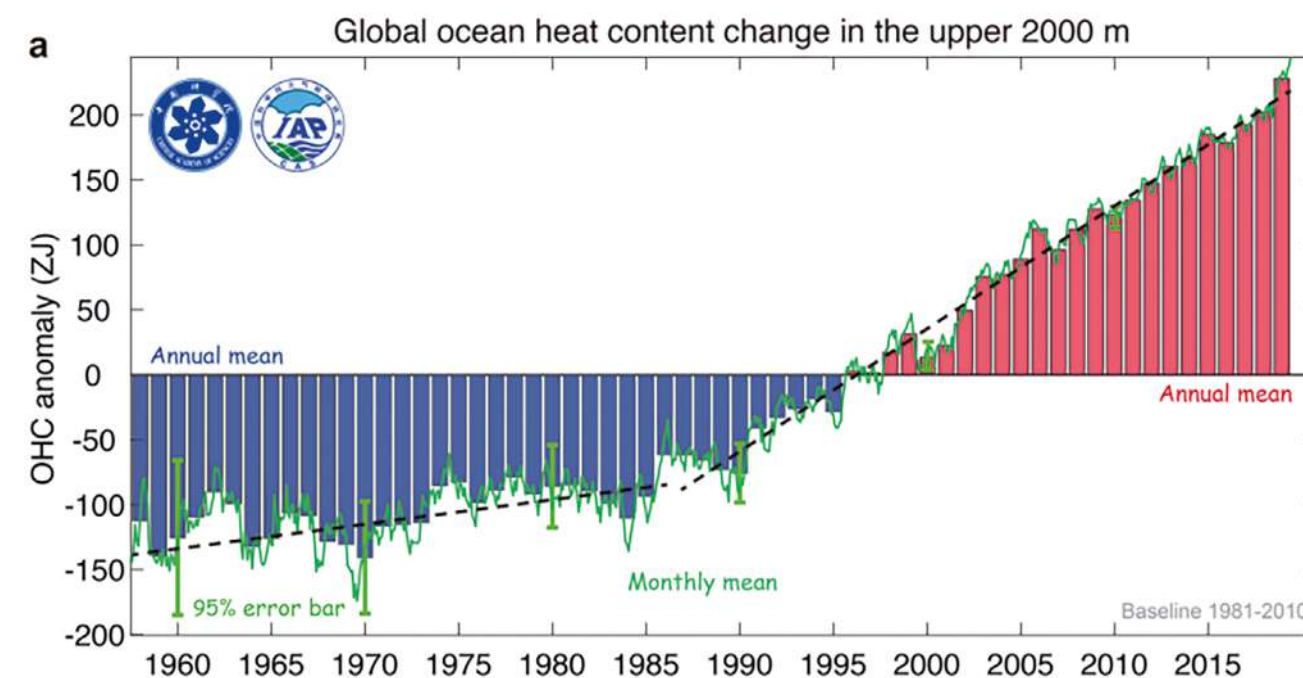
¹³⁶NOAA. How much oxygen comes from the ocean? <https://oceanservice.noaa.gov/facts/ocean-oxygen.html> (Accessed May 1, 2025)

¹³⁷Boyce, D. G., Lewis, M. R. & Worm, B. Global phytoplankton decline over the past century. *Nature* 466, 591–596 (2010). <https://doi.org/10.1038/nature09268>

¹³⁸Bopp, L. et al. Multiple stressors of ocean ecosystems in the 21st century: projections with CMIP5 models. *Biogeosciences* 10, 6225–6245 (2013). <https://doi.org/10.5194/bg-10-6225-2013>

Pagbabago ng Temperatura sa Karagatan

Ang ulat ng Estado ng karagatan sa daigdig 2024 ay nagpinta ng isang nakababahalang larawan ng hindi pa naganap na pag-init ng karagatan. Ipinapakita ng pananaliksik na ang mga temperatura ng karagatan ay patuloy na tumataas sa pagitan ng 1960 at 1986. Gayunpaman, sa nakalipas na ilang dekada, ang prosesong ito ay bumilis ng dalawang beses¹³⁹ (Figure 42).



Larawan 42. Pagbabago ng nilalaman ng init sa itaas na 2000 metro ng pandaigdigang karagatan.

Pinagmulan: Cheng, L., Abraham, J., Zhu, J., Trenberth, K. E., Fasullo, J., Boyer, T., Locarnini, R., Zhang, B., Yu, F., Wan, L., Chen, X., Song, X., Liu, Y., & Mann, M. E. (2020). Nagpatuloy ang Pagtatakda ng Rekord na Pag-init ng Karagatan noong 2019. *Mga Pagsulong sa Atmospheric Sciences*, 37(2), 137–142.

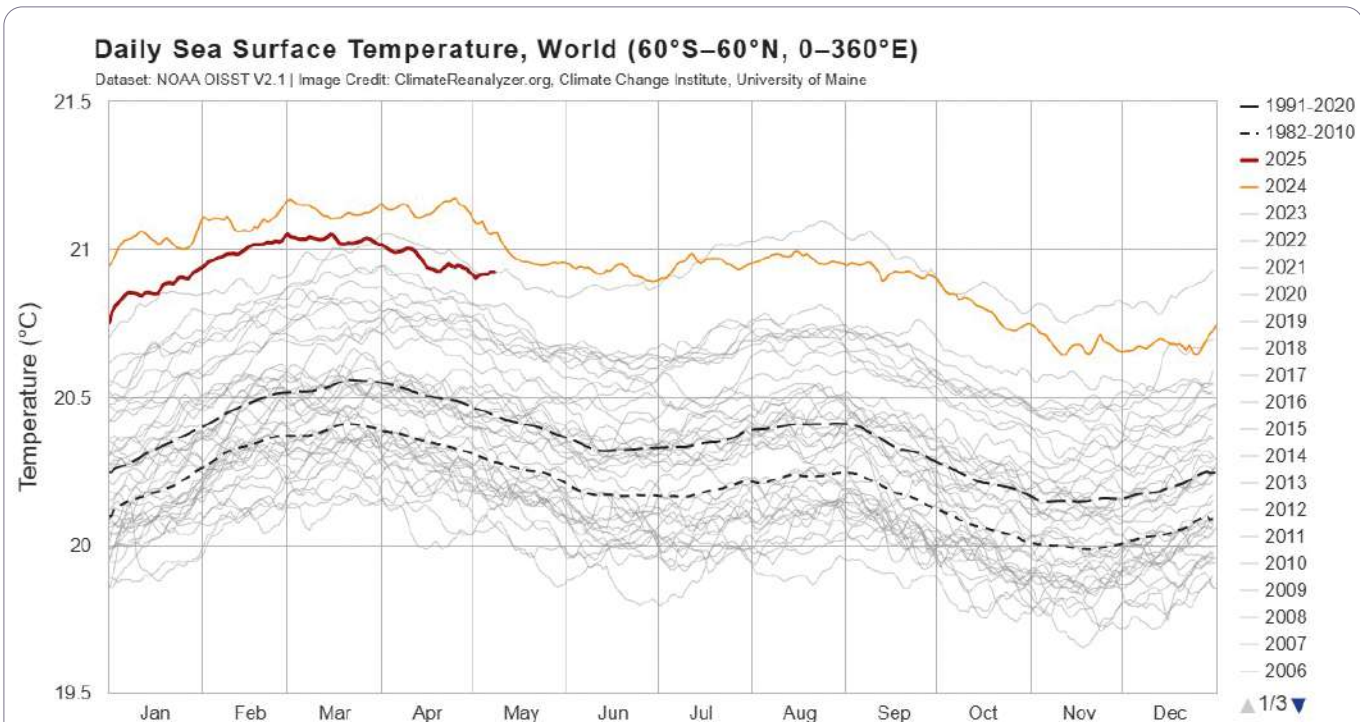
<https://doi.org/10.1007/s00376-020-9283-7>

Ang 2023 ay ang pinakamainit na taon na naitala, na lumampas sa nakaraang rekord na itinakda noong 2016. Isang lahat ng oras na rekord para sa temperatura sa ibabaw ng dagat ay naitakda rin¹⁴⁰. Nagpatuloy ang uso na ito, na sinira ng 2024 ang rekord noong 2023 (Larawan 43) at naging pinakamainit na taon na naitala¹⁴¹. Sa panahong ito, ang temperatura sa ibabaw ng dagat ay nanatili sa mataas na rekord sa loob ng 15 magkakasunod na buwan, na binibigyang-diin ang pagtitiyaga ng naobserbahang pag-init.

¹³⁹Cheng, L., Abraham, J., Zhu, J. et al. Record-Setting Ocean Warmth Continued in 2019. *Adv. Atmos. Sci.* 37, 137–142 (2020). <https://doi.org/10.1007/s00376-020-9283-7>

¹⁴⁰NOAA. Earth had its warmest year on record; Upper-ocean heat content was record high while Antarctic sea ice was record low. <https://www.noaa.gov/news/global-climate-202312> (Accessed May 1, 2025)

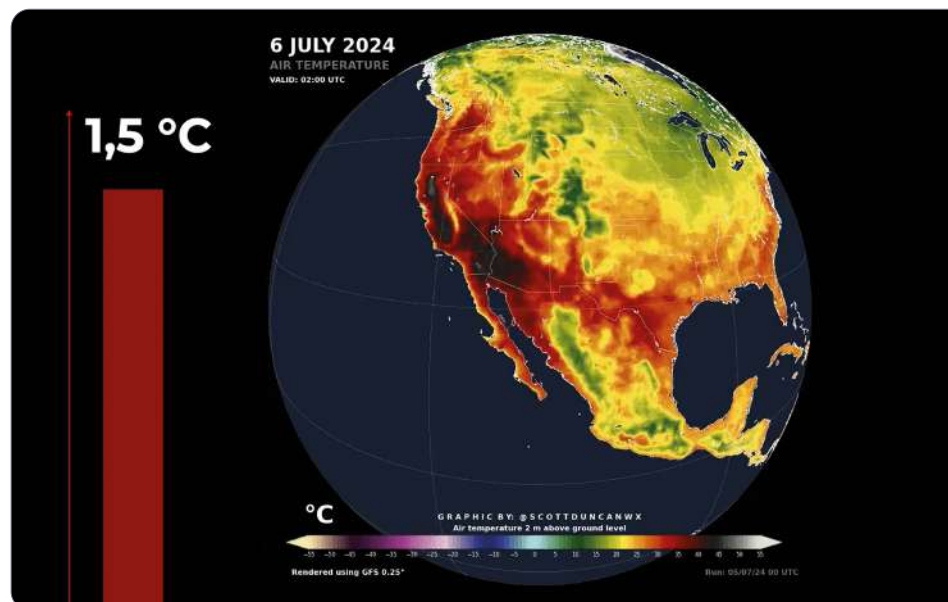
¹⁴¹World Meteorological Organization (WMO) confirms 2024 as warmest year on record at about 1.55°C above pre-industrial level.



Larawan 43. Araw-araw na temperatura sa ibabaw ng dagat: isang graphical na representasyon ng mga pagbabago sa itaas na temperatura ng karagatan na sumasalin sa mga pana-panahong pagkakaiba-iba sa mga nakaraang taon.

Pinagmulan: NOAA OISST V2.11 Image Credit: Climate Reanalyzer.org, Institusyon ng pagbabago ng klima. Unibersidad ng Maine https://climateranalyzer.org/clim/sst_daily/?dm_id=world2

Sa unang pagkakataon sa kasaysayan, ang karaniwan na taunang temperatura ay lumampas sa antas ng panahon bago ang industriyal ng 1.5 °C¹⁴² (Larawan 44). Ayon sa mga eksperto, ang indicator na ito ay isang kritikal na threshold kung saan ang sangkatauhan ay haharap sa malakihang pagkabigla sa klima¹⁴³.

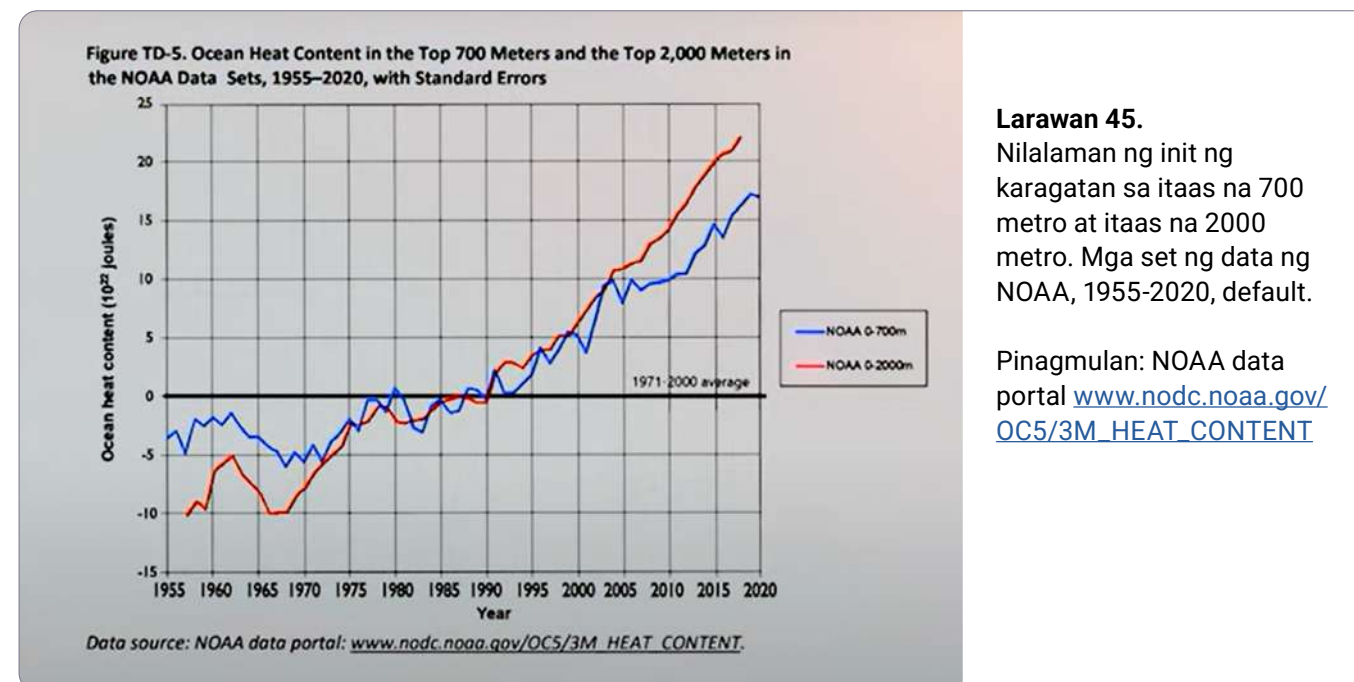


Larawan 44. Schematic na representasyon ng threshold ng klima: noong 2024, ang average na taunang temperatura ng mundo ay lumampas sa threshold na 1.5°C sa itaas ng pre-industrial na antas sa unang pagkakataon

¹⁴²World Meteorological Organization (WMO). State of the Global Climate 2024. <https://wmo.int/publication-series/state-of-global-climate-2024> (Accessed May 1, 2025)

¹⁴³IPCC. Global Warming of 1.5°C. (Cambridge University Press, 2022). <https://doi.org/10.1017/9781009157940> (Accessed May 1, 2025)

Ang pagtaas ng temperatura na ito ay inaasahan sa kalagitnaan ng ika-21 siglo¹⁴⁴, ngunit ang threshold na ito ay nalampasan na. Ayon sa mga pagtatantya ng UN, kung magpapatuloy ang kasalukuyang mga uso, maaaring tumaas ang temperatura sa buong mundo ng halos 3°C sa siglong ito¹⁴⁴.



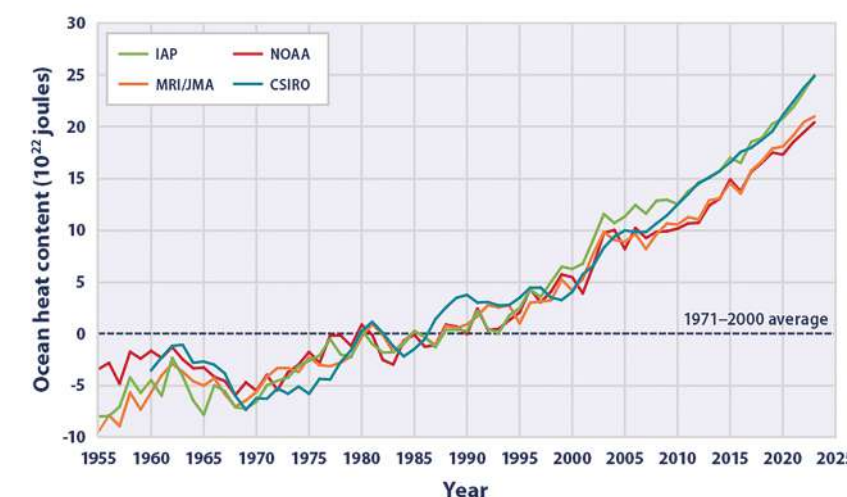
Larawan 45. Nilalaman ng init ng karagatan sa itaas na 700 metro at itaas na 2000 metro. Mga set ng data ng NOAA, 1955-2020, default.

Pinagmulan: NOAA data portal www.nodc.noaa.gov/OC5/3M_HEAT_CONTENT

Larawan 46.

Ipinapakita ng chart na ito ang pagbabago sa nilalaman ng init ng karagatan sa itaas na 700 metro ng karagatan ng mundo mula 1955 hanggang 2023. Ang nilalaman ng init sa karagatan ay sinusukat sa joules, isang yunit ng enerhiya, at inihahambing sa average noong 1971–2000, na nakatakda sa zero para sa sanggunian. Ang pagpili ng ibang base period ay hindi magbabago sa hugis ng data sa paglipas ng panahon. Ang mga linya ay independyenteng kinakalkula gamit ang iba't ibang pamamaraan ng mga ahensya ng gobyerno sa apat na bansa: ang US National Oceanic and Scientific and Industrial Research Organization of Australia (CSIRO), ang Institute of Atmospheric Physics of China (IAP), at ang Meteorological Research Institute ng Japan Meteorological Agency (MRI/JMA).

Pinagmulan: CSIRO, 2024;5 IAP, 2024;6 MRI/JMA, 2024;7 NOAA, 20248 <https://www.epa.gov/climate-indicators/climate-change-indicators-ocean-heat>

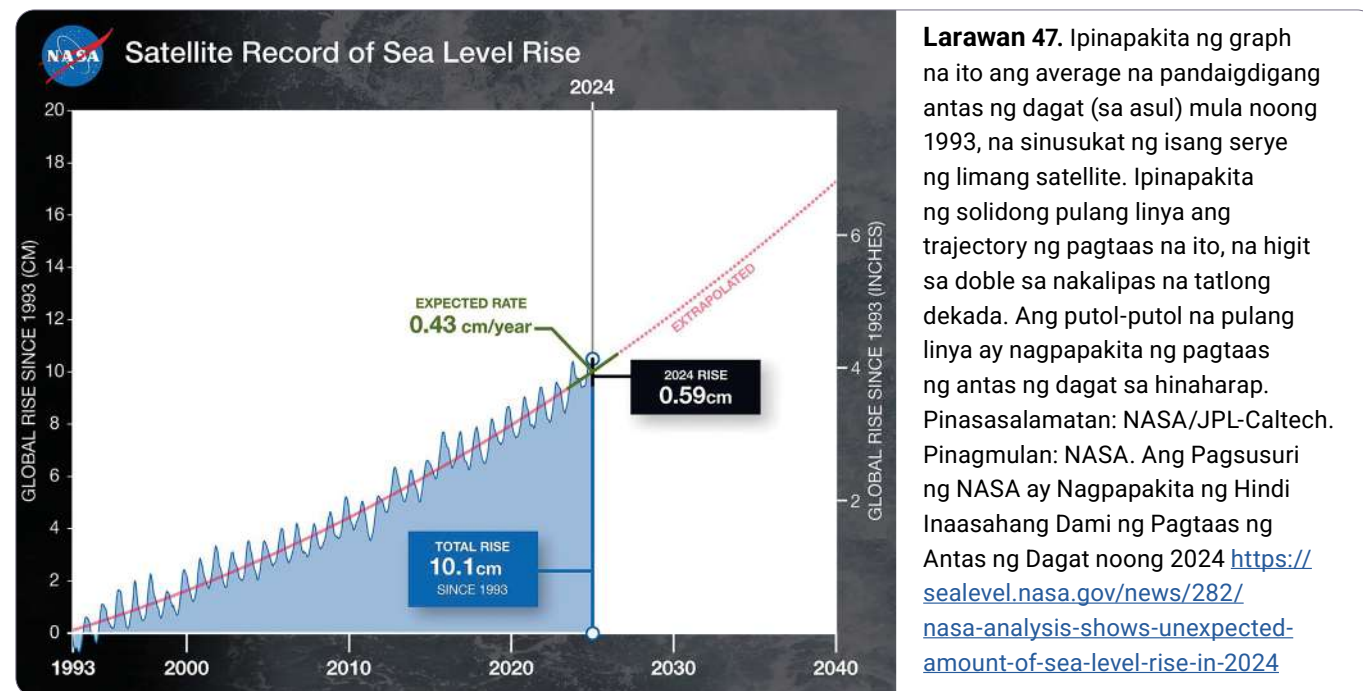


¹⁴⁴The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate Change 2021: The Physical Science Basis <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>

Sa nakalipas na 60 taon, ang mga karagatan sa kalagitnaan ng kalaliman ay uminit nang 15 beses na mas mabilis kaysa sa nakaraang 10,000 taon¹⁴⁵ (Mga Larawan 45–46). Ipinapakita nito na ang global warming ay nakakaapekto hindi lamang sa ibabaw ng mga layer ng tubig, kundi pati na rin sa mas malalim na bahagi ng karagatan kung saan ang sikat ng araw ay hindi tumagos. Ang pag-init ng tubig sa gayong kalaliman ay nangangailangan ng napakalaking halaga ng enerhiya, na nagbibigay-diin sa laki ng problema. Tinataya ng mga siyentipiko na para uminit ang karagatan sa kasalukuyang bilis nito, ang katumbas ng pagsabog ng pitong atomic bomb bawat segundo sa loob ng isang taon¹⁴⁶ ay kailangang ilabas—isang napakalaking halaga na nagtatanong: saan nanggagaling ang lahat ng enerhiyang iyon?

Ang pagtaas ng temperatura ng dagat ay hindi maiiwasang humahantong sa pagtaas ng lebel ng dagat, na nagbabanta na lamunin ang buong baybayin. Sa nakalipas na dalawang siglo, ang antas ng dagat ay tumaas ng 21 cm, at ng 10.1 cm¹⁴⁷ sa nakalipas na 30 taon. Ang kasalukuyang rate ng pagtaas ay 2.5 beses na mas mataas kaysa dati, at ang trend na ito ay magpapatuloy. Kung hindi magbabago ang sitwasyon, milyun-milyong tao ang magiging refugee, mapipilitang umalis sa kanilang mga tahanan at maghanap ng kanlungan malayo sa baybayin.

“Ang pagtaas na nakita namin noong 2024 ay mas mataas kaysa sa aming inaasahan,” sabi ni Josh Willis, isang mananaliksik sa antas ng dagat sa Jet laboratory ng pagpapaandar ng NASA sa timog California. **“Ang bawat taon ay medyo naiiba, ngunit malinaw na ang karagatan ay patuloy na tumataas, at ang rate ng pagtaas ay pabilis ng pabilis”**¹⁴⁸ (Larawan 47).



Ang pag-init ng karagatan ay nag-aambag din sa mas madalas at matinding matinding mga kaganapan sa panahon, tulad ng mga baha, bagyo, at matinding pag-ulan. Ang mga pagbabagong ito ay nagbabanta sa mga ecosystem ng planeta at sa buhay ng bilyun-bilyong tao, at nagiging mas malala ang mga ito bawat taon.

¹⁴⁵Rosenthal, Y., Linsley, B. K., & Oppo, D. W. (2013). Pacific Ocean Heat Content During the Past 10,000 Years. *Science*, 342(6158), 617–621. <https://doi.org/10.1126/science.1240837>; Oppo, D. (2013, October 31). Is Global Heating Hiding Out in the Oceans? <https://www.earth.columbia.edu/articles/view/3130> (Accessed May 1, 2025)

¹⁴⁶Взят природ энергии океана в 1022 джоулей в 2022 году по сравнению с 2021 годом (Cheng, L. et al. Another Year of Record Heat for the Oceans. *Adv. Atmos. Sci.* 40, 963–974 (2023). <https://doi.org/10.1007/s00376-023-2385-2>) и энергия ядерного взрыва 6.3×10^{13} джоулей.

¹⁴⁷NASA. Tracking 30 Years of Sea Level Rise <https://earthobservatory.nasa.gov/images/150192/tracking-30-years-of-sea-level-rise> (Accessed May 1, 2025)

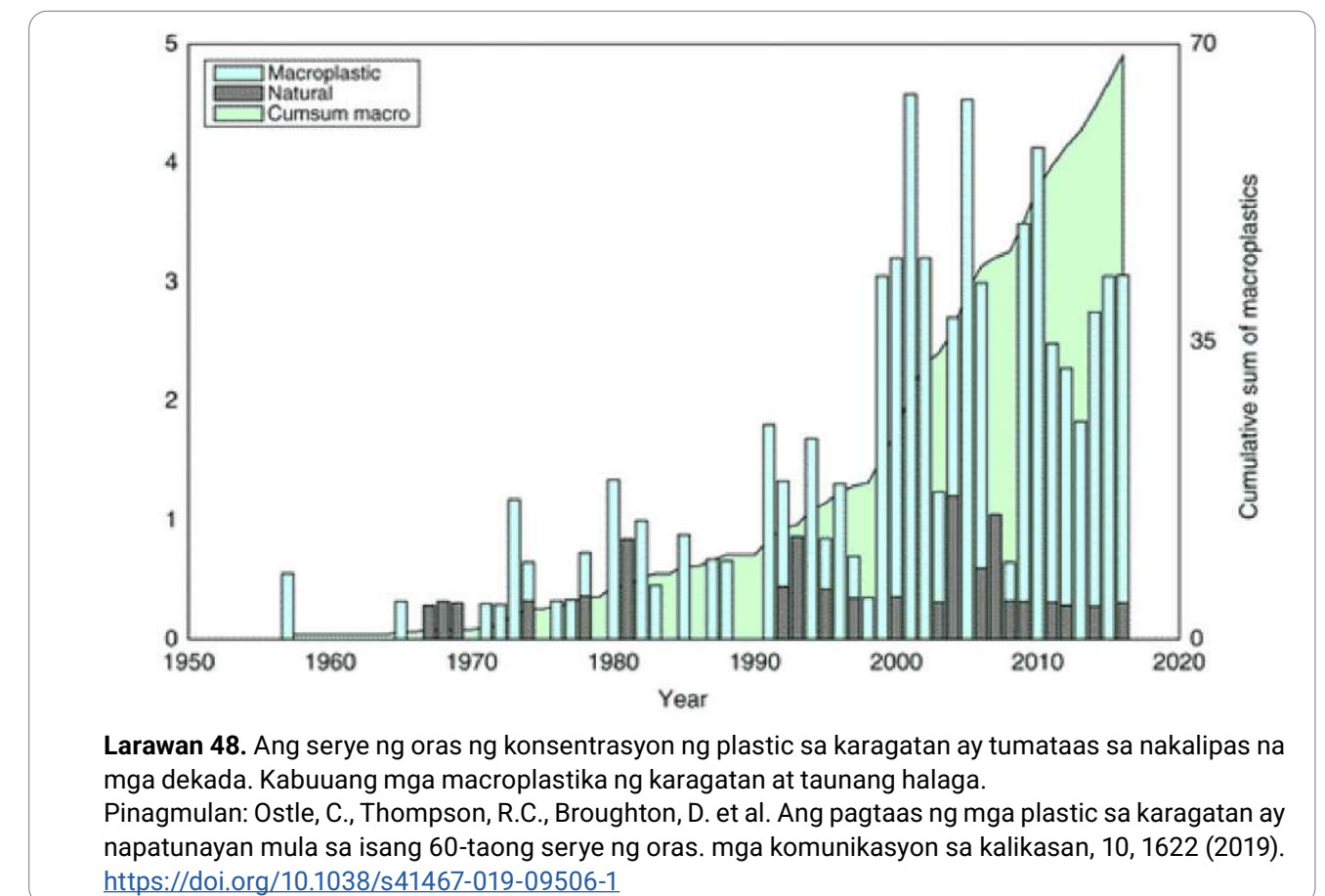
¹⁴⁸NASA. NASA Analysis Shows Unexpected Amount of Sea Level Rise in 2024 <https://sealevel.nasa.gov/news/282/nasa-analysis-shows-unexpected-amount-of-sea-level-rise-in-2024> (Accessed May 1, 2025)

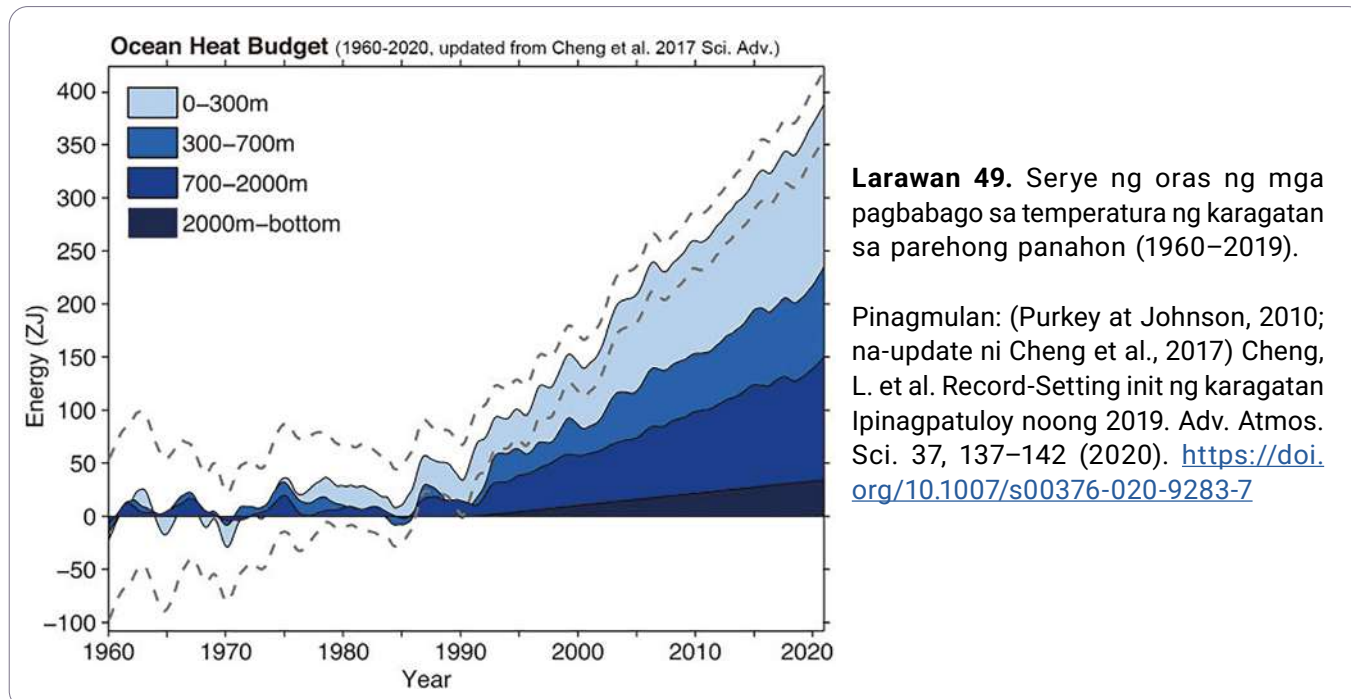
Bakit umiinit ang karagatan? Hypothesis

Ang pangunahing pangkalahatang kinikilalang mga salik na nakakaimpluwensya sa pag-init ng karagatan ay ang mga greenhouse gases tulad ng CO₂, na kumukuha ng init sa atmospera at nagpapataas ng temperatura ng mga itaas na layer ng tubig sa karagatan. Gayunpaman, may iba pang mga kadahilanan na maaari ring magkaroon ng malaking epekto sa prosesong ito. Ang isang karagdagang kadahilanan ng pag-init ng karagatan ay tatalakayin din sa kabanata na “Factor X. Ang epekto ng micro- at nanoplastics sa dynamics ng cycle ng mga natural na sakuna”.

Mula noong ikalawang kalahati ng ika-20 siglo, nagkaroon ng matinding pagtaas sa dami ng plastik sa karagatan, na kasabay ng panahon ng pinabilis na pag-unlad ng industriya at mass production ng mga produktong plastik (Larawan 48). Mula 1960 hanggang 2019, napansin din ang pagbabago sa temperatura ng karagatan. Ang graph (Larawan 49) ay nagpapakita ng magkatulad na pagtaas sa average na temperatura sa ibabaw ng mga karagatan, na naobserbahan din mula noong kalagitnaan ng ika-20 siglo.

Kapag inihambing ang dalawang graph (Mga Larawan 48–49), makikita ang isang ugnayan sa pagitan ng pagtaas ng konsentrasyon ng plastic sa mga karagatan at ng pagtaas ng temperatura ng tubig. Iminumungkahi nito na ang polusyon ng plastik sa karagatan ay maaaring isang makabuluhang, ngunit hindi gaanong nauunawaan, na salik na nakakaimpluwensya sa pag-init ng karagatan.

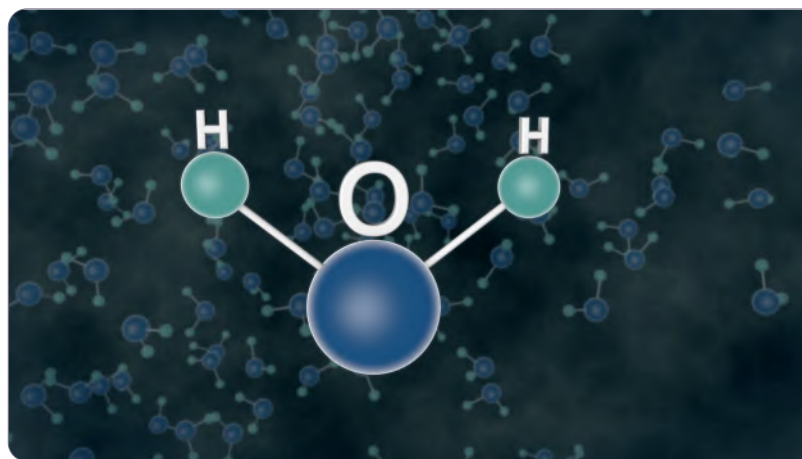




Upang higit pang tuklasin ang isyung ito, mahalagang maunawaan kung maaaring makaapekto ang plastic sa mga pisikal na katangian ng tubig sa karagatan, tulad ng thermal conductivity at kapasidad ng init. At maaari bang mag-ambag ang mga pagbabagong ito sa pagtaas ng temperatura ng karagatan? Upang mas maunawaan ang mga prosesong ito, sinisiyasat natin ang mga pangunahing katangian ng tubig at ang mga pakikipag-ugnayan nito sa mga pollutant.

Mga pangunahing katangian ng tubig

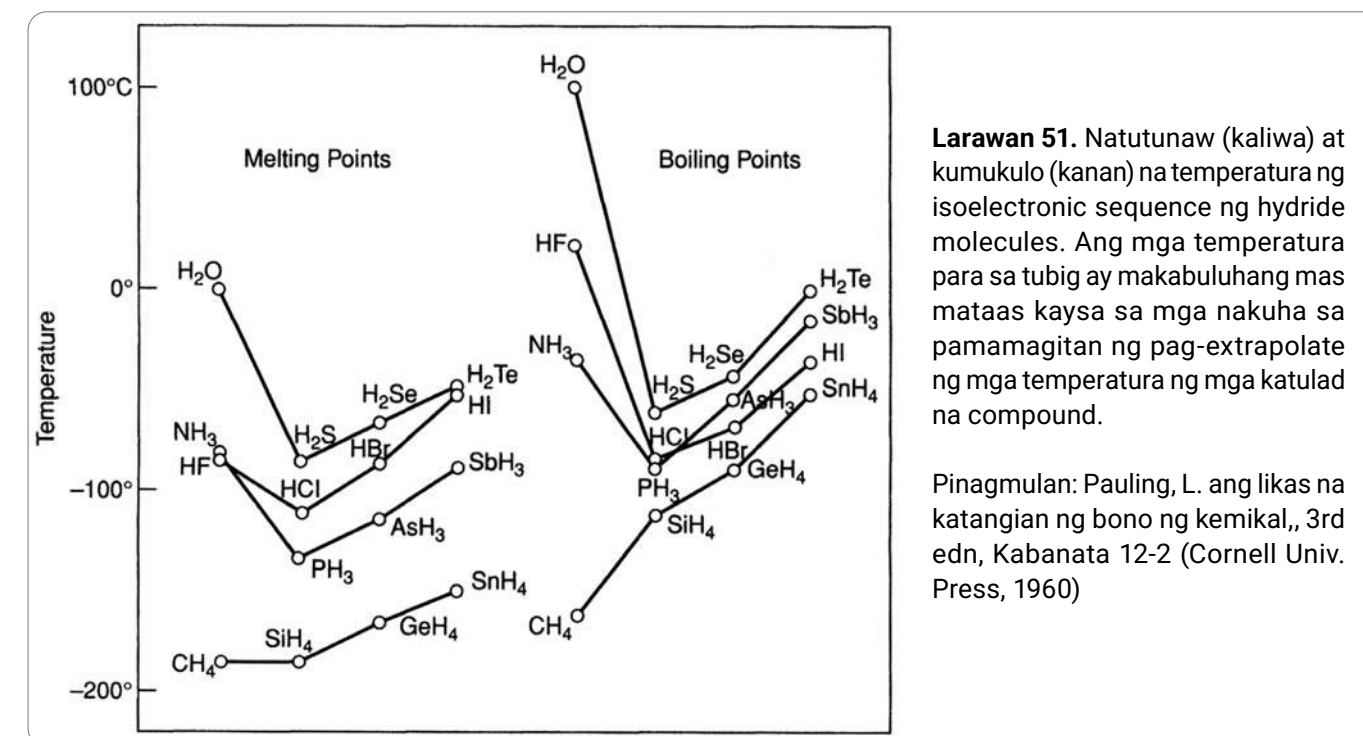
Ang molekula ng tubig ay may simetriko na hugis-V, kung saan ang dalawang atomo ng hydrogen ay matatagpuan sa isang gilid na may kaugnayan sa isang mas malaking atomo ng oxygen (Larawan 50).



Larawan 50.

Schematic na representasyon ng isang molekula ng tubig: dalawang atomo ng hydrogen (H) ay nakagapos sa isang atom ng oxygen (O) sa isang anggulo na $\sim 104.5^\circ$, na bumubuo ng isang dipole na may mga positibo at negatibong singil

Ang istraktura na ito ay naiiba sa mga linear na molekula tulad ng CO_2 , kung saan ang lahat ng mga atom ay nakaayos sa isang kadena. Ang hugis na ito ng molekula ng tubig ay ginagawa itong espesyal at mahalaga para sa maraming proseso sa Earth. Ang mga katangian ng mga molekula ng tubig ay nagpapahintulot sa tubig na manatiling likido sa mga temperatura na karaniwang magiging sanhi ng pag-gasify ng ibang mga molekula ng triatomic (Larawan 51).



Ito ay dahil sa mga hydrogen bond¹⁴⁹ na nagbubuklod sa mga molekula ng tubig upang bumuo ng isang malakas at maayos na istraktura.

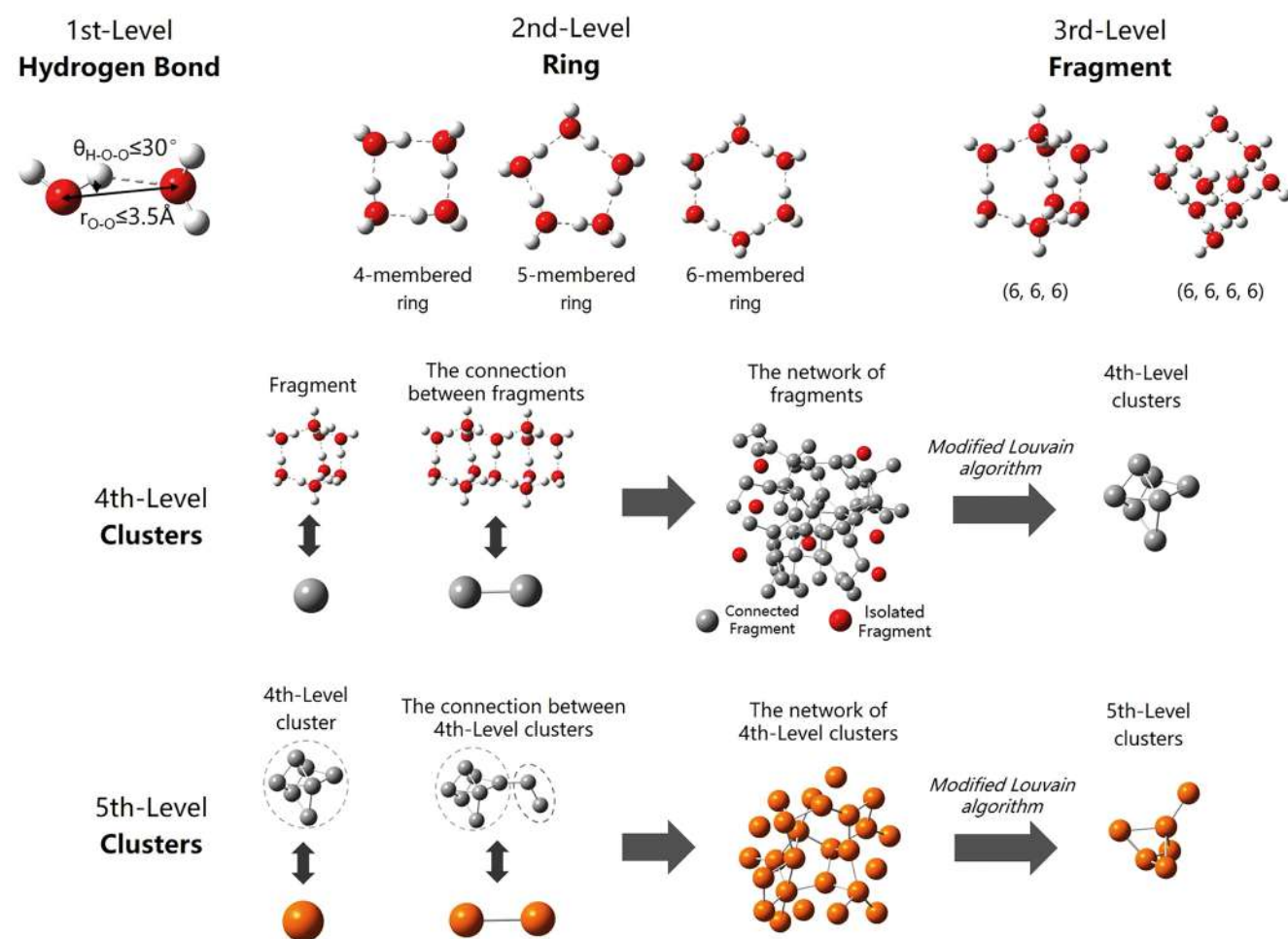
Karamihan sa mga bono ng hydrogen ay mahinang mga atraksyon, na may mga lakas ng bono na humigit-kumulang isang-kasampung bahagi ng isang normal na covalent bond. Gayunpaman, ang mga ito ay napakahalaga. Kung wala ang mga ito, ang lahat ng mga istrakturang gawa sa kahoy ay babagsak, ang semento ay guguh, ang mga karagatan ay sumingaw, at ang lahat ng mga bagay na may buhay ay magwawakas sa walang buhay na bagay¹⁵⁰.

Ito ang dahilan kung bakit ang tubig ay may kakayahang bumuo ng mga kumpol, na nagpapaliwanag sa mga maanomalyang katangian nito (Mga Larawan 52–53). Maaaring saklawin ng mga kumpol ng tubig ang higit sa 95% ng network ng hydrogen bond, na may ilang kumpol na sumasaklaw sa libu-libong molekula, na umaabot nang lampas sa 3.0 nm^{151} .

¹⁴⁹ Pauling, L. The Nature of the Chemical Bond, 3rd edn, Chapter 12-2 (Cornell Univ. Press, 1960).

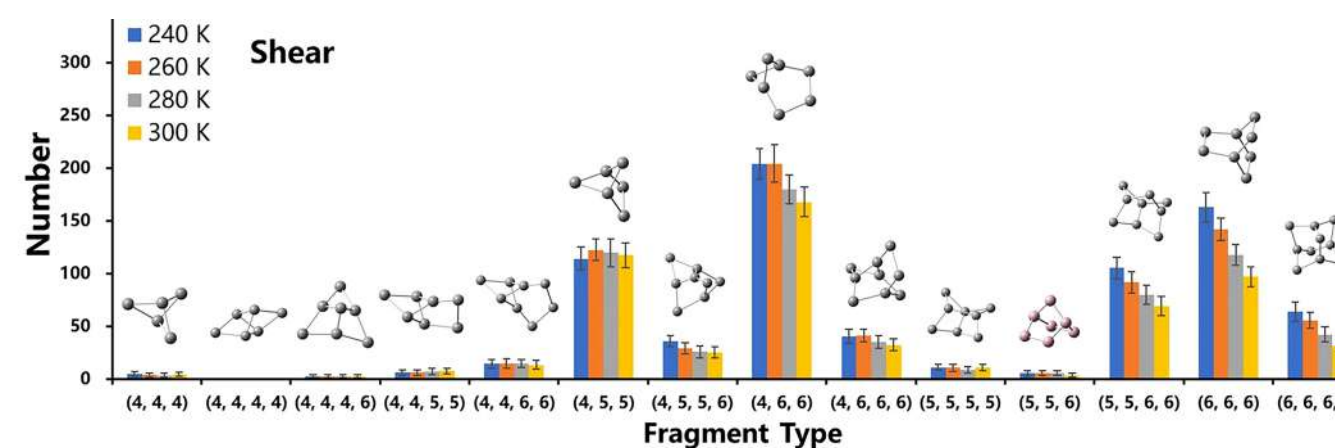
¹⁵⁰ Jeffrey, G. A. An Introduction to Hydrogen Bonding (Oxford University Press, New York, 1997). <https://books.google.com/books?vid=ISBN0195095499>

¹⁵¹ Gao, Y., Fang, H., Ni, K. & Feng, Y. Water clusters and density fluctuations in liquid water based on extended hierarchical clustering methods. Sci Rep 12, 8036 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-11947-6>



Larawan 52. Schematics ng hierarchical clustering method. Ang mga hydrogen bond, singsing, at mga fragment ay itinuturing na ika-1, ika-2, at ika-3 antas ng mga istruktura, na mga ball-and-stick na modelo mula sa isang kemikal na pananaw, at ang pula at puting mga bola ay kumakatawan sa oxygen at hydrogen atoms, ayon sa pagkakabanggit. Ang mga solid at may tuldok na stick ay kumakatawan sa O-H covalent bond at hydrogen bond, ayon sa pagkakabanggit. Ang 4th at 5th level cluster ay inilalarawan mula sa topological point of view. Ang mga bola ay kumakatawan sa istraktura ng mga huling antas. Ang mga istruktura sa figure ay isang pagpipilian lamang sa mga isinasaalang-alang ng clustering algorithm.

Pinagmulan: Gao, Y., Fang, H. & Ni, K. Isang hierarchical clustering method ng mga hydrogen bond network sa likidong tubig na sumasailalim sa shear flow. Sci Rep 11, 9542 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-88810-7>



Larawan 53. Pamamahagi ng mga hierarchical na istruktura sa antas 1, 2, at 3 sa network sa iba't ibang kaso. (a) Pamamahagi ng hydrogen bonds (level 1 structures) sa iba't ibang temperatura. (b) Pamamahagi ng mga singsing (level 2 na istruktura) sa iba't ibang temperatura. (c) Pamamahagi ng mga fragment (level 3 na istruktura) sa iba't ibang temperatura. Tandaan na ang (4, 4, 4) ay tumutukoy sa simbolo ng isang fragment na kinasasangkutan ng tatlong singsing na may 4 na miyembro.

Pinagmulan: Gao, Y., Fang, H. & Ni, K. Isang hierarchical clustering method ng mga hydrogen bond network sa likidong tubig na sumasailalim sa shear flow. Sci Rep 11, 9542 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-88810-7>

Thermal Kapasidad, thermal conductivity at densidad ng tubig at ang kanilang functional na Kahalagahan

1. Mataas na kapasidad ng init ng tubig

Ang tubig ay may pinakamataas na tiyak na kapasidad ng init sa mga likido at solid sa ilalim ng karaniwang mga kondisyon, pangalawa lamang sa ilang mga gas tulad ng hydrogen¹⁵². Nangangahulugan ito na nagagawa nitong sumipsip, humawak at maglipat ng malalaking halaga ng thermal energy na may medyo maliit na pagbabago sa sarili nitong temperatura.

Ang kapasidad ng init ng tubig ay tinutukoy ng dami ng init na kinakailangan upang itaas ang temperatura ng 1 g ng tubig ng 1 °C at humigit-kumulang 4.18 J/(g·°C) sa ilalim ng mga karaniwang kondisyon. Ang ari-arian na ito ay isa sa mga pangunahing salik sa pagsasaayos ng klima: ang tubig sa mga karagatan ay nag-iipon ng init sa araw at dahan-dahang naglalabas nito sa gabi. Sa tag-araw, ang karagatan ay sumisipsip ng labis na init, at sa taglamig ay unti-unti itong inilalabas, na kumikilos bilang isang higitang termostat at nagpapagaan ng mga pagkakaiba sa temperatura sa planeta.

2. Thermal Conductivity ng Tubig

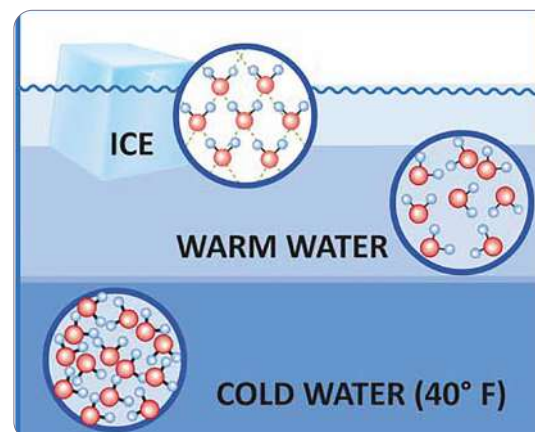
Ang tubig ay may medyo mababang thermal conductivity kumpara sa mga metal, ngunit ito ay mas mataas kaysa sa maraming iba pang mga likido. Ang thermal conductivity ay isang sukatan ng kakayahan ng isang substance na maglipat ng init mula sa isang bahagi patungo sa isa pa nang hindi ginagalaw ang mismong sangkap. Ang thermal conductivity ng tubig ay humigit-kumulang 0.6 W/(m·K) sa mga karaniwang kondisyon (25 °C), na ginagawa itong isang mahusay na konduktor ng init sa mga natural na proseso tulad ng pamamahagi ng init sa mga karagatan at iba pang anyong tubig.

¹⁵²Lide, D. R. (ed.) CRC Handbook of Chemistry and Physics, 85th edn (CRC Press, 2004).

Ipinapakita ng mga obserbasyon na ang thermal conductivity ng tubig ay tumataas sa temperatura hanggang sa isang tiyak na limitasyon¹⁵². Bilang karagdagan, ang halagang ito ay maaaring mabago sa pamamagitan ng pagkakaroon ng mga mga dumi o natunaw na sangkap^{153, 154}. Ang mga katangiang ito ay nakakaapekto sa pamamahagi ng init sa tubig, na mahalaga sa pag-unawa sa mga pakikipag-ugnayan sa pagitan ng karagatan at atmospera.

3. Maanomalyang pag-uugali ng densidad ng tubig

Hindi tulad ng karamihan sa mga sangkap, ang densidad ng tubig ay kumikilos nang hindi karaniwan sa mga pagbabago sa temperatura. Kapag pinalamig sa 4 °C, tumataas ang densidad nito, ngunit sa karagdagang paglamig (mula 4 °C hanggang 0 °C), nagsisimulang bumaba ang densidad (Larawan 54). Kapag nag-freeze ang tubig, bumababa ang densidad nito ng 8-9%. Ipinapaliwanag nito kung bakit hindi lumulubog ang yelo, ngunit nananatili sa ibabaw. Ang hindi pangkaraniwang bagay na ito ay napakahalaga para sa buhay sa mga anyong tubig, dahil pinoprotektahan ng yelo ang tubig at mga buhay na organismo mula sa ganap na pagyeyelo, na pinipigilan ang lahat ng tubig mula sa pagyeyelo hanggang sa ilalim.



Larawan 54. Eskematiko na representasyon ng pagbabago sa densidad ng tubig na may paglamig: habang ito ay lumalamig, ang mga molekula ng tubig ay gumagalaw nang magkakalapit, pinatataas ang densidad at umaabot sa pinakamataas sa 4 °C. Sa karagdagang paglamig, ang mga bono ng hydrogen ay nagsisimulang mangibabaw, ang mga molekula ng tubig ay nakahanay sa isang mala-kristal na istraktura ng yelo, na humahantong sa pagpapalawak ng tubig at pagbaba sa density ng yelo, na nagiging humigit-kumulang 10% na mas mababa kaysa sa likidong tubig.

Pinagmulan: <https://askascientistblog.wordpress.com/2015/11/04/if-molecules-in-colder-things-get-denser-why-does-ice-float/>

Ang Epekto ng Mga Katangian ng Tubig sa Klima at Ecosystem

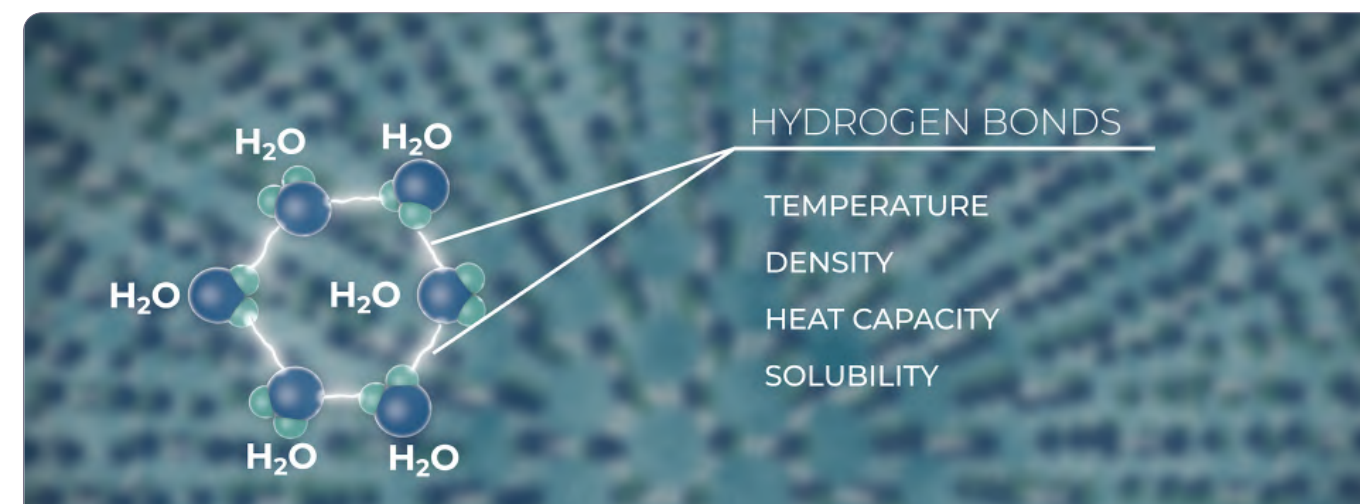
Ang mga pagbabago sa temperatura ng tubig ay maaaring makabuluhang makaapekto sa balanse ng init ng Karagatan ng Daigdig at ang kakayahang mag-ipon at maglipat ng init. Ito naman ay makakaapekto sa sistema ng klima ng Lupa.

Kaya, ang mga katangian ng physicochemical ng tubig, lalo na ang kapasidad ng init at thermal conductivity nito, ay may mahalagang papel sa pagpapanatili ng balanse ng ekolohiya sa planeta at pag-regulate ng mga proseso ng klima (Larawan 55).

¹⁵²Lide, D. R. (ed.) CRC Handbook of Chemistry and Physics, 85th edn (CRC Press, 2004).

¹⁵³Sharqawy, M. H., Lienhard, J. H. & Zubair, S. M. Thermophysical properties of seawater: a review of existing correlations and data. Desalination and Water Treatment 16, 354–380 (2010). <https://doi.org/10.5004/dwt.2010.1079>

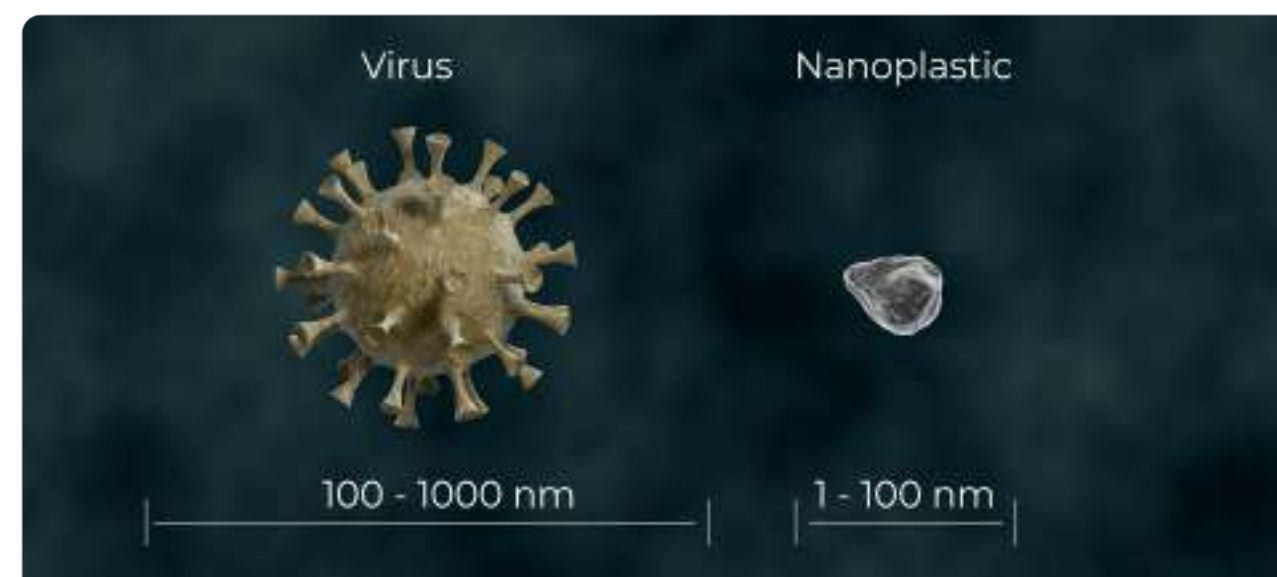
¹⁵⁴Jamieson, D. T. & Tudhope, J. S. Physical properties of sea water solutions: thermal conductivity. Desalination 8, 393–401 (1970). [https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(00\)80240-4](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(00)80240-4)



Larawan 55. Schematic na representasyon ng mga hydrogen bond sa mga molekula ng tubig at ang kanilang impluwensya sa mga pangunahing katangian ng tubig: Ang mga hydrogen bond ay nakakatulong sa mataas na kapasidad ng init ng tubig, na nagbibigay-daan dito na epektibong sumipsip at mapanatili ang init. Tinutukoy din ng mga bono na ito ang Densidad ng tubig, na pinakamataas sa 4 °C, pati na rin ang kakayahang matunaw ang mga polar at ionic na sangkap, na ginagawang unibersal na solvent ang tubig

Ang Papel ng mga MNP sa Pagbabago ng mga Pisikal na Katangian ng Tubig-dagat

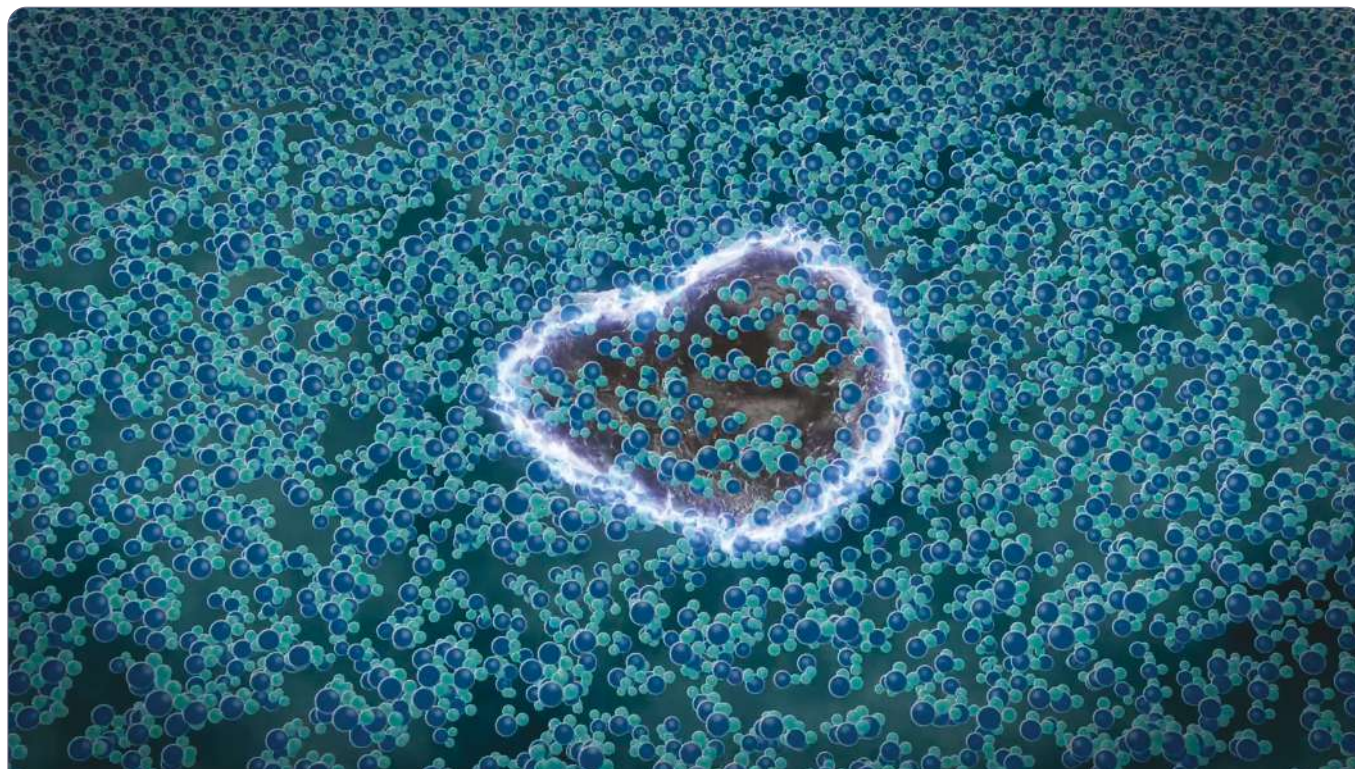
Ang plastik, isang produkto ng industriya ng petrochemical, ay hindi nabubulok sa kalikasan, ngunit nabubulok sa mas maliliit na particle, tulad ng micro- at nanoplastics¹⁵⁵. Ang mga particle na ito, lalo na ang nanoplastics, ay maaaring magkaroon ng malaking epekto sa pisikal at kemikal na mga katangian ng tubig, na maaaring makaapekto sa mga ecosystem at mga proseso ng klima. Ang mga nanoplastics ay mga particle ng nanometer sa laki, na mas maliit kaysa sa isang virus (Larawan 56).



Larawan 56. Schematic na paghahambing ng mga sukat ng isang virus at isang nanoplastic particle

¹⁵⁵Yu, R.-S. & Singh, S. Microplastic Pollution: Threats and Impacts on Global Marine Ecosystems. Sustainability 15, 13252 (2023). <https://doi.org/10.3390/su151713252>

Halimbawa, ang nylon (polyamide) nanoplastic na naglalaman ng nitrogen at oxygen ay may kakayahang bumuo ng mga hydrogen bond sa tubig¹⁵⁶. Kapag ang mga nanoplastic na particle ay pumasok sa tubig, sinisira nila ang nakaayos na istraktura ng tubig batay sa mga bono ng hydrogen sa pagitan ng mga molekula ng tubig, na maaaring magbago ng mga katangiang physicochemical nito (Larawan 57). Sa partikular, ang mga molekula ng tubig ay nawawalan ng kadaliang kumilos, na binabawasan ang kanilang kakayahang epektibong lumahok sa mga proseso ng pagpapalitan ng init. Bilang karagdagan, sa mga may tubig na solusyon na naglalaman ng iba't ibang mga sangkap, ang mga nanoplastic na particle ay maaaring makakuha ng electric charge¹⁵⁷.



Larawan 57. Eskematiko na representasyon ng mga naka-charge na plastic nanoparticle sa tubig: kapag nalantad sa hindi matatag na mga kondisyon ng tubig — gaya ng pagkakaroon ng mga organikong o synthetic na dumi, mga pagbabago sa pH, temperatura, o kaasinan — ang nanoplastic na ibabaw ay nagiging potensyal na aktibo at may kakayahang bumuo ng mga singil sa kuryente sa kapaligiran ng tubig.

Pinagmulan: Rahman, A. M. N. A. A. et al. Isang pagsusuri ng mga pakikipag-ugnayan sa ibabaw ng microplastic sa tubig at mga potensyal na paraan ng pagkuha. *agham at engineering ng tubig*, 17, 361–370 (2024).

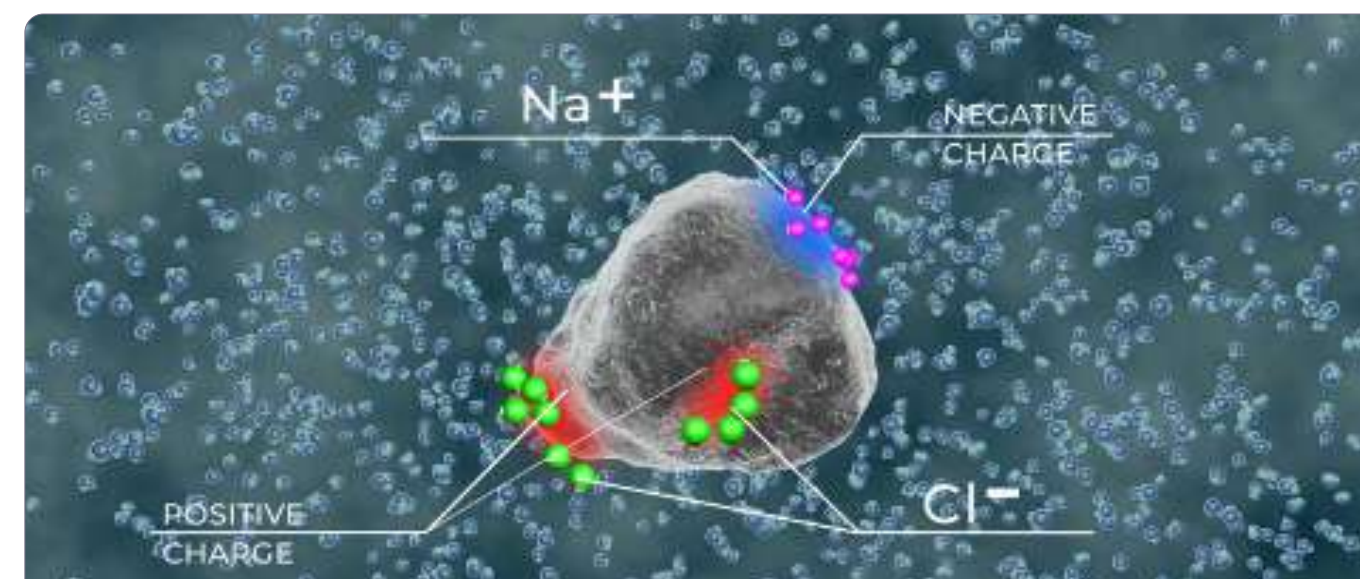
<https://doi.org/10.1016/j.wse.2023.11.008>

Nangyayari ito dahil sa mga pagbabago sa kemikal sa ibabaw nito, tulad ng oksihenasyon, at dahil sa adsorption ng mga ion, tulad ng sodium (Na^+) at chlorine (Cl^-), sa tubig-dagat. Ang mga naka-charge na plastic na nanoparticle na napapalibutan ng mga ion ay umaakit ng mga molekula ng tubig at bumubuo ng isang hydration shell sa kanilang paligid¹⁵⁸ (Larawan 58).

¹⁵⁶Ivleva, N. P. Chemical Analysis of Microplastics and Nanoplastics: Challenges, Advanced Methods, and Perspectives. *Chem. Rev.* 121, 11886–11936 (2021). <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.1c00178>

¹⁵⁷Rahman, A. M. N. A. A. et al. A review of microplastic surface interactions in water and potential capturing methods. *Water Science and Engineering* 17, 361–370 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.wse.2023.11.008>

¹⁵⁸Chen, Y. et al. Electrolytes induce long-range orientational order and free energy changes in the H-bond network of bulk water. *Sci. Adv.* 2, e1501891 (2016). <https://doi.org/10.1126/sciadv.1501891>

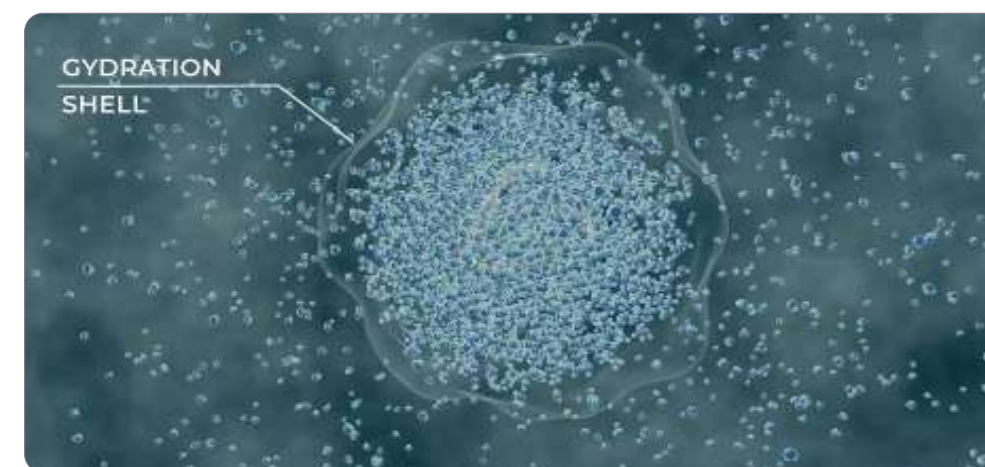


Larawan 58. Ang eskematiko na representasyon ng proseso ng pagbuo ng isang hydration shell sa paligid ng sisingilin na mga plastic nanoparticle: sa prosesong ito, ang mga nanoparticle, na may singil, ay umaakit ng mga ions, na nagtataguyod ng pagbuo ng mga molekula ng tubig sa kanilang paligid, na lumilikha ng isang proteksiyon na hydration shell.

Pinagmulan: Chen, Y. et al. Ang mga electrolyte ay nagbubunsod ng Malayuan oryentasyong kaayusan at libreng mga pagbabago sa enerhiya sa H-bond network ng bulk water. *Sci. Adv.* 2, e1501891 (2016).

<https://doi.org/10.1126/sciadv.1501891>

Nagpasya ang mga mananaliksik mula sa Ecole Polytechnique de Lausanne na alamin kung gaano kalaki ang sukat ng hydration shell na ito para sa mga ions, iyon ay, kung gaano karaming mga molekula ng tubig ang tumutugon sa ion. Ito ay lumabas na ang isang ion ay maaaring makaimpluwensya sa humigit-kumulang isang milyong mga molekula ng tubig na nakapalibot dito. Ang epekto na ito ay pinahusay kung ang particle ay may malaking singil sa ibabaw at isang mataas na konsentrasyon ng mga adsorbed ions. Bilang resulta, maaaring baguhin ng isang nanoplastic na particle ang mga katangian ng milyun-milyong molekula ng tubig¹⁵⁹ (Larawan 59). Ang mga molekula na nakatali sa isang hydration shell ay hindi gaanong mobile¹⁵⁹. Bilang resulta, ang kabuuang kapasidad ng init ng tubig ay bumababa^{160, 161}.



Larawan 59. Schematic na representasyon ng hydration shell sa paligid ng isang nanoplastic particle

¹⁵⁸Chen, Y. et al. Electrolytes induce long-range orientational order and free energy changes in the H-bond network of bulk water. *Sci. Adv.* 2, e1501891 (2016). <https://doi.org/10.1126/sciadv.1501891>

¹⁵⁹Laage, D., Elsaesser, T. & Hynes, J. T. Water Dynamics in the Hydration Shells of Biomolecules. *Chem. Rev.* 117, 10694–10725 (2017). <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.6b00765>

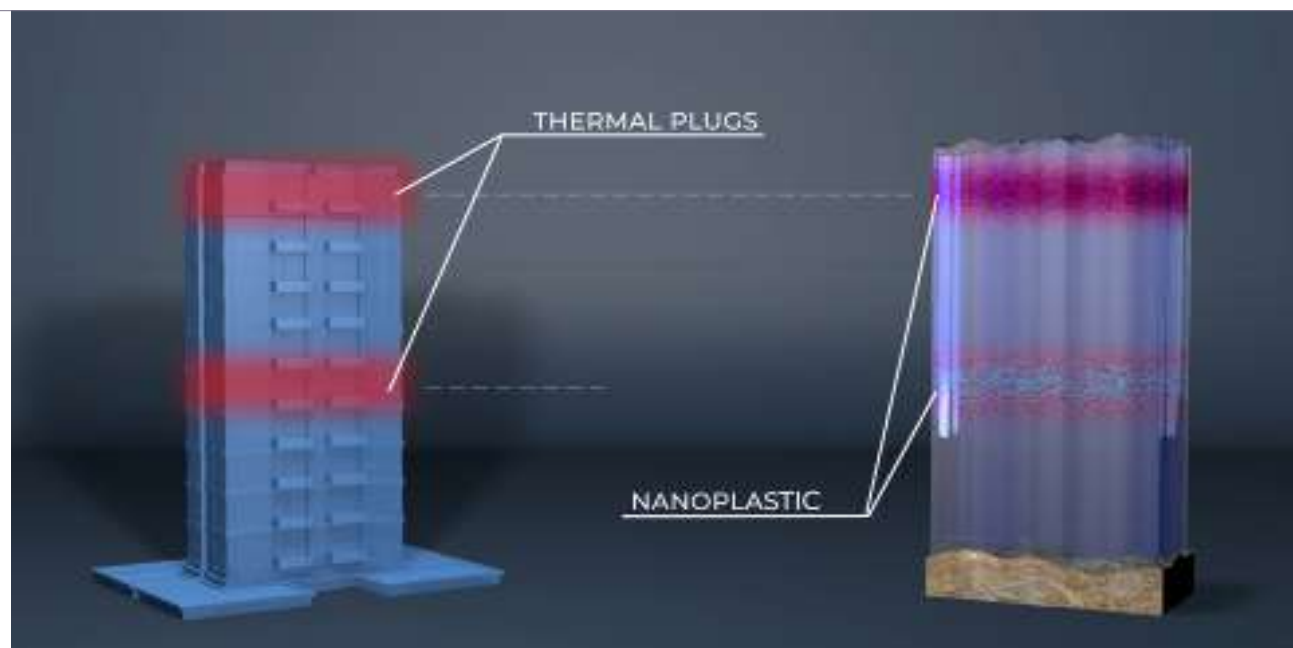
¹⁶⁰Chew, T., Daik, R. & Hamid, M. Thermal Conductivity and Specific Heat Capacity of Dodecylbenzenesulfonic Acid-Doped Polyaniline Particles—Water Based Nanofluid. *Polymers* 7, 1221–1231 (2015). <https://doi.org/10.3390/polym7071221>

¹⁶¹Riazi, H. et al. Specific heat control of nanofluids: A critical review. *International Journal of Thermal Sciences* 107, 25–38 (2016). <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2016.03.024>

Ang pagkagambala ng istraktura ng hydrogen bond ay humahantong din sa pagbaba sa thermal conductivity¹⁶². Bilang resulta, ang tubig na malapit sa nanoplastic ay maaaring manatiling pinainit, dahil nawawalan ito ng kakayahang epektibong maglipat ng init.

Mga sona ng micro- at nanoplastic na konsentrasyon sa karagatan

Ang mga micro- at nanoplastics ay maaaring ipamahagi sa buong karagatan dahil sa mga agos, at ang mas siksik na mga particle o kontaminadong plastic ay maaaring tumira sa ilalim ng dagat. Ang akumulasyon ng nanoplastic ay sinusunod din sa mga thermocline zone - ito ay isang transition layer na matatagpuan sa pagitan ng mainit-init na tubig sa ibabaw at mas malamig na mas malalim na mga layer¹⁶³ (Larawan 60).

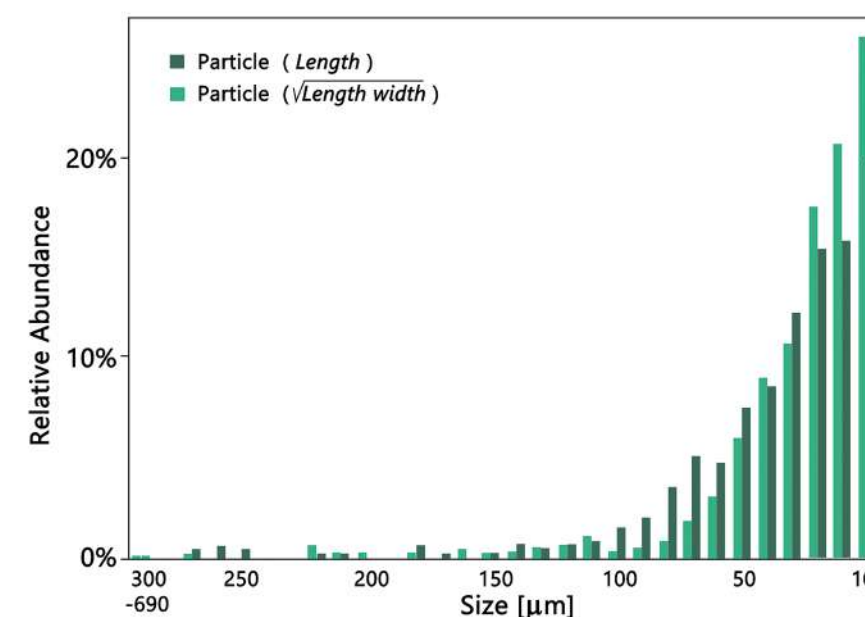


Larawan 60. Ang larawan ay nagpapakita ng matalinghagang paghahambing ng mga zone ng konsentrasyon ng micro- at nanoplastics sa karagatan at isang multi-story na gusali na may mga thermal plug sa ika-5 at ika-10 palapag. Ang mga plug na ito ay nakakasagabal sa normal na pagpapalitan ng init, at sa halip na pantay na pamamahagi ng init, ito ay naipon sa mga sahig na ito. Ipapakita ng isang thermal imager na ang temperatura sa loob ng gusali ay mas mataas kaysa sa parehong gusali na walang mga plug. Katulad nito, ang mga nanoplastics sa tubig ay nakakagambala sa mga natural na mekanismo ng palitan ng init, na lumilikha ng “mga heat plug” sa karagatan

Ang pagtaas ng konsentrasyon ng nanoplastics sa mga karagatan ay maaaring humantong sa mga pagbabago sa pandaigdigang balanse ng init. Maaari itong makaapekto sa pagtaas ng temperatura ng karagatan, at samakatuwid ay magdulot ng pagbabago ng klima. Mahalagang tandaan na kahit isang maliit na halaga ng nanoplastics ay maaaring magkaroon ng malaking epekto sa mga ecosystem. Ang tumataas na temperatura sa ibabaw ng karagatan ay nagpapabilis sa pagkapira-piraso ng mga plastik na debris sa micro- at nanoplastics (Larawan 61). Bilang isang resulta, ang bilang ng mga particle na ito ay tumataas, na, kasama ng singaw ng tubig, ay pumapasok sa kapaligiran. Ang pagkakaroon ng micro- at nanoplastics sa atmospera ay nag-aambag sa karagdagang pag-init nito, na, naman, ay nagpapataas ng pag-init ng karagatan. Kaya, nabuo ang isang mabisyo na bilog, kung saan ang mga proseso ay kapwa nagpapatibay sa bawat isa.

¹⁶²Berger Bioucas, F. E. et al. Effective Thermal Conductivity of Nanofluids: Measurement and Prediction. *Int J Thermophys* 41, 55 (2020). <https://doi.org/10.1007/s10765-020-2621-2>

¹⁶³Tikhonova, D. A., Karetnikov, S. G., Ivanova, E. V. & Shalunova, E. P. The Vertical Distribution of Microplastics in the Water Column of Lake Ladoga. *Water Resour* 51, 146–153 (2024). <https://doi.org/10.1134/S009780782370063X>



Larawan 61. Kamag-anak na pamamahagi ng microplastic particle ayon sa laki para sa lahat ng nasuri na istasyon (np = 543). Ang mga larawan ay nagpapakita ng pinakamaliit (kanan) at pinakamalaking (kaliwa) na mga partikulo ng MP na nakita at nakumpirma ng Raman microspectrometry.

Pinagmulan: Enders, K., Lenz, R., Stedmon, C. A. & Nielsen, T. G. Kasaganaan, laki at polymer na komposisyon ng marine microplastics $\geq 10 \mu\text{m}$ sa Atlantic Ocean at ang kanilang modelong vertical distribution. *Marine Pollution Bulletin* 100, 70–81 (2015). <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.09.027>

Relasyon sa pagitan ng electrostatic charge ng MNPs at atmospheric phenomena

Ang mga micro- at nanoplastics ay pumapasok sa atmospera sa pamamagitan ng iba't ibang mga landas¹⁶⁴. Ang singaw ng tubig na sumingaw mula sa ibabaw ng mga karagatan at iba pang mga anyong tubig ay nagdadala ng mga microparticle sa hangin. Sa mga kontinente, ang pangunahing pinagmumulan ng atmospheric plastics ay mga pabrika, incinerator, at mga landfill. Ang microplastics ay tumataas din sa hangin kapag ang mga agricultural fertilizers at plastic mulch ay natuyo at tinatangay ng hangin. Ang microplastics ay inilabas sa pamamagitan ng friction ng mga gulong ng kotse.

Ang mga ito at marami pang ibang pinagmumulan ay gumagawa ng malaking kontribusyon sa polusyon sa atmospera. Ang mga prosesong ito ay nag-aambag sa akumulasyon at pamamahagi ng mga microplastics sa kapaligiran, na lumilikha ng malubhang banta sa kapaligiran at klima. Sa sandaling nasa atmospera, ang mga micro- at nanoplastic na particle ay maaaring kumilos bilang condensation nuclei para sa singaw ng tubig. Kung mas maraming nuclei, mas mabilis ang condensation ng water vapor sa droplets. Ang airborne microplastics ay nakita sa mga sample ng tubig sa ulap na nakolekta sa mga taluktok ng bundok sa Japan¹⁶⁵ (Larawan 62).

¹⁶⁴Shaw, D. B., Li, Q., Nunes, J. K. & Deike, L. Ocean emission of microplastic. *PNAS Nexus* 2, pgad296 (2023). <https://doi.org/10.1093/pnasnexus/pgad296>

¹⁶⁵Wang, Y. et al. Airborne hydrophilic microplastics in cloud water at high altitudes and their role in cloud formation. *Environ Chem Lett* 21, 3055–3062 (2023). <https://doi.org/10.1007/s10311-023-01626-x>

Paano nakakaapekto ang atmospheric microplastics sa pagbuo ng ulap at pagbabago ng klima

Ang microplastics (mas mababa sa 5 mm ang laki) ay patuloy na nagpaparumi sa parehong terrestrial at aquatic ecosystem.

Gayunpaman, ang kanilang epekto sa pagbuo ng ulap at pagbabago ng klima ay nananatiling hindi gaanong nauunawaan.

Pagsusuri ng microplastics sa tubig sa ulap

Ang mga sample ng tubig sa ulap na nakolekta mula sa mga taluktok sa pagitan ng 1,300 at 3,776 metro sa Japan.

Pinahinang Kabuuang Pagmuni -muni Imaging at Fourier Transform Infrared Microspectroscopy

Mga Resulta ng Pagsusuri

Natukoy ang siyam na uri ng polimer:

- Polyethylene
- Polypropylene
- Polyethylene terephthalate
- Polymethyl methacrylate
- Epoxy
- Polyamide 6
- Ethylene-propylene copolymer o polyethylene-polypropylene alloy
- Polyurethane

Ang microplastics ay pira-piraso

- Saklaw ng konsentrasyon: 6.7 – 13.9 particle kada litro
- Saklaw ng diameter ng feret: 7.1 – 94.6 μm

Ang mga microplastics na may hydrophilic group ay naroroon sa maraming dami

Ang airborne hydrophilic microplastics ay nagsisilbing condensation nuclei para sa yelo at tubig sa mga ulap, na nakakaimpluwensya sa kanilang pagbuo at nakakaimpluwensya sa pandaigdigang klima

Airborne hydrophilic microplastics in cloud water at high altitudes and their role in cloud formation
Wang et al. (2023) | Environmental Chemistry Letters | DOI: 10.1007/s10311-023-01626-x

Larawan 62. Airborne hydrophilic microplastics sa cloud water sa matataas na lugar at ang papel nito sa cloud formation.

Pinagmulan: Hiroshi Okochi mula sa Waseda University
<https://www.sustainableplastics.com/news/scientists-find-microplastics-clouds-above-mount-fuji>



“Sa isang maruming kapaligiran na may maraming mga particle ng aerosol tulad ng microplastics, ang lahat ng tubig ay naipamahagi sa maraming mga particle ng aerosol, na bumubuo ng mas maliliit na droplet sa paligid ng bawat isa sa kanila. Kapag mas maraming droplets, makakakuha ka ng mas kaunting pag-ulan. Ngunit dahil ang mga droplet ay nahuhulog lamang kapag sila ay lumaki, mas maraming tubig ang nakukuha sa ulap,” sabi ni Miriam, isang precipitation ng Fricipitation, ang iyong propesyon ay mas marami. sa Department of meteorolohiya at mga agham sa atmospera sa Penn State University¹⁶⁶.

Ipinapaliwanag nito kung bakit sa mga nakaraang taon, ang iba't ibang rehiyon ay nakakaranas ng abnormal na pag-ulan.

¹⁶⁶The Pennsylvania State University Research. Microplastics impact cloud formation, likely affecting weather and climate. (2024)
<https://www.psu.edu/news/research/story/microplastics-impact-cloud-formation-likely-affecting-weather-and-climate>

Mga singil sa kuryente sa mga ulap

Ang kapaligiran ng Daigdig ay isang kumplikadong sistemang elektrikal kung saan ang mga molekula ng tubig ay may mahalagang papel. Mula noong 1752, nang unang ipakita ni Benjamin Franklin na ang kapaligiran ay nakuryente at ang mga pagkulong ay elektrikal sa kalikasan, naunawaan na ang interaksyon ng tubig (sa singaw, likido, at yelo) ay gumaganap ng isang mahalagang papel sa mga prosesong ito. Ang tubig sa dalisay nitong anyo ay neutral, ngunit sa panahon ng mga phase transition tulad ng pagtunaw at pagyeyelo, gayundin sa panahon ng mga banggaan ng molekular, maaari itong maglipat ng mga ion sa iba pang mga particle, na humahantong sa mga electrical effect.

Sa atmospera, ang mga banggaan sa pagitan ng mga kristal ng yelo, mga patak ng supercooled na tubig, at iba pang mga particle sa pagkakaroon ng natural na mga electric field ay humahantong sa paghihiwalay ng singil. Ang prosesong ito ay gumaganap ng isang mahalagang papel sa pagbuo ng koryente sa atmospera, kabilang ang mga thundercloud. Ang hindi pangkaraniwang bagay na ito ay mahalaga para sa pagbuo ng ulap at pag-ulan. Ang mga naka-charge na droplet ay nagsisimulang mag-akit sa isa't isa, na nagpapabilis sa proseso ng kanilang pagsasama-sama sa mas malalaking patak, na kalaunan ay humahantong sa pagbuo ng mga ulap na maaaring magdulot ng pag-ulan tulad ng ulan, niyebe, o yelo.



“Ang mga singil ay hindi kapani-paniwalang mahalaga, at sa proseso ng pagbuo ng ulap, ang mga singil ay halos lahat. At nalaman namin na ang mga singil ay may mahalagang papel,” sabi ni Gerald H. Pollack, PhD, propesor ng bioengineering sa Unibersidad ng Washington, editor-in-chief at tagapagtatag ng interdisciplinary research journal WATER¹⁶⁷.

Noong 1843 din, natuklasan ni Michael Faraday na ang kuryente ay nalilikha ng friction ng mga patak ng tubig laban sa metal, na sumisingil sa tubig. Ang pagtuklas na ito ay humantong sa karagdagang pag-aaral ng singil ng tubig dahil sa friction, phase transition at contact electrification, pati na rin ang mga pagtatangka na gamitin ang epektong ito upang lumikha ng mga bagong pinagkukunan ng enerhiya.

Ito ay kilala na ang mahalumigmig na hangin ay maaaring neutralisahan ang singil sa ibabaw sa pamamagitan ng pagbuo ng isang water film na nagpapahintulot sa mga ions na ilipat at mawala ang naipon na singil. Gayunpaman, sa ilang mga kaso, ang mga ibabaw ng tubig-adsorbing ay maaaring makaipon ng singil mula sa mahalumigmig na kapaligiran, na nakakaapekto rin sa elektrikal na estado ng kapaligiran¹⁶⁸. Ipinakita ng pananaliksik na ang mga mabibigat na metal ay madaling nakakabit sa microplastics at ang kumbinasyong ito ay maaaring makapinsala sa mga ecosystem ng planeta.

¹⁶⁷AllatRa TV. Anthropogenic factor in the oceans' demise: Popular science film. Time 55:00, (2025).

<https://allatra.tv/en/video/anthropogenic-factor-in-the-oceans-demise-popular-science-film> (Accessed May 1, 2025).

¹⁶⁸Lax, J. Y., Price, C. & Saaroni, H. On the Spontaneous Build-Up of Voltage between Dissimilar Metals Under High Relative Humidity Conditions. Sci Rep 10, 7642 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-64409-2>

Bukod dito, ang microplastics at ang pinaghalong mga sangkap sa kanilang mga ibabaw ay hindi lamang maaaring dumikit sa iba pang mga pollutant, ngunit nakikipag-ugnayan din sa isa't isa, binabago ang kanilang mga kemikal na katangian¹⁶⁹. Kapag ang mga micro- at nanoplastic na particle ay nakakasagabal sa atmospera, maaari nilang sirain ang maselang balanse sa mga proseso ng atmospera. Ang mga plastik na particle ay maaaring magdala ng isang singil, na nagpapataas ng pagkahumaling ng mga molekula ng tubig sa polar, na nagtataguyod ng pagbuo ng mga patak. Ang mga plastik na particle ay hindi nagiging ordinaryong condensation nuclei, tulad ng pollen, sea salt o soot, ngunit maaaring makolekta sa mga droplet nang mas mahusay kaysa sa mga neutral na particle¹⁷⁰.

Nangangahulugan ito na ang mga patak ng tubig ay nagsisimulang mabuo nang mas mabilis sa paligid ng mga naka-charge na particle, na nakakaapekto sa istraktura ng mga ulap at maaaring humantong sa pagbuo ng malalaking patak at kahit na hindi normal na malalaking kristal ng yelo¹⁷¹. Halimbawa, natuklasan kamakailan ng isang pangkat ng mga mananaliksik ang mga plastic na butil sa mga ulap sa tuktok ng mga bundok sa Japan na may ibabaw na nakakaakit ng tubig¹⁷².

Epekto sa pagbuo ng ulap at pag-ulan

Maaaring maapektuhan ng microplastics ang mga pattern ng pag-ulan, pagtataya ng panahon, pagmomodelo ng klima, at maging ang kaligtasan ng aviation sa pamamagitan ng pag-impluwensya kung paano bumubuo ng mga ulap ang mga kristal na yelo sa atmospera.

Natuklasan¹⁷³ ng pag-aaral na ang mga patak ng tubig na naglalaman ng microplastics ay nagyeyelo sa temperaturang 4–10°C na mas mataas kaysa sa mga walang mga ito, ibig sabihin sa mas mababang mga altitude. Ang isang patak ng tubig na walang anumang impurities ay karaniwang nagyeyelo sa paligid ng -38°C. Gayunpaman, sa microplastics, 50% ng mga droplet ay nagyelo sa temperatura sa pagitan ng -18°C at -24°C, depende sa uri ng plastic.

Ang mga patak ng tubig na naglalaman ng microplastics ay mas mabilis na nag-freeze, na bumubuo ng mas malalaking mga particle ng yelo. Ang mga particle na ito ay itinataas sa pamamagitan ng mga updraft, paulit-ulit na natatakpan ng mga layer ng yelo, at pagkatapos ay nahuhulog sa lupa. Ang hindi pangkaraniwang bagay na ito ay maaaring humantong sa isang pagtaas sa laki ng mga yelo (Mga Larawan 63-64), isang pagtaas sa kanilang mapanirang epekto, at gayundin sa pag-activate ng proseso ng pagbuo ng ulap ng yelo. Bilang resulta, nagbabago ang dalas at tindi ng pag-ulan, kabilang ang pag-ulan at pag-ulan. Maaari itong magdulot ng mga cascading effect sa klima, hydrological cycle, at ecosystem.

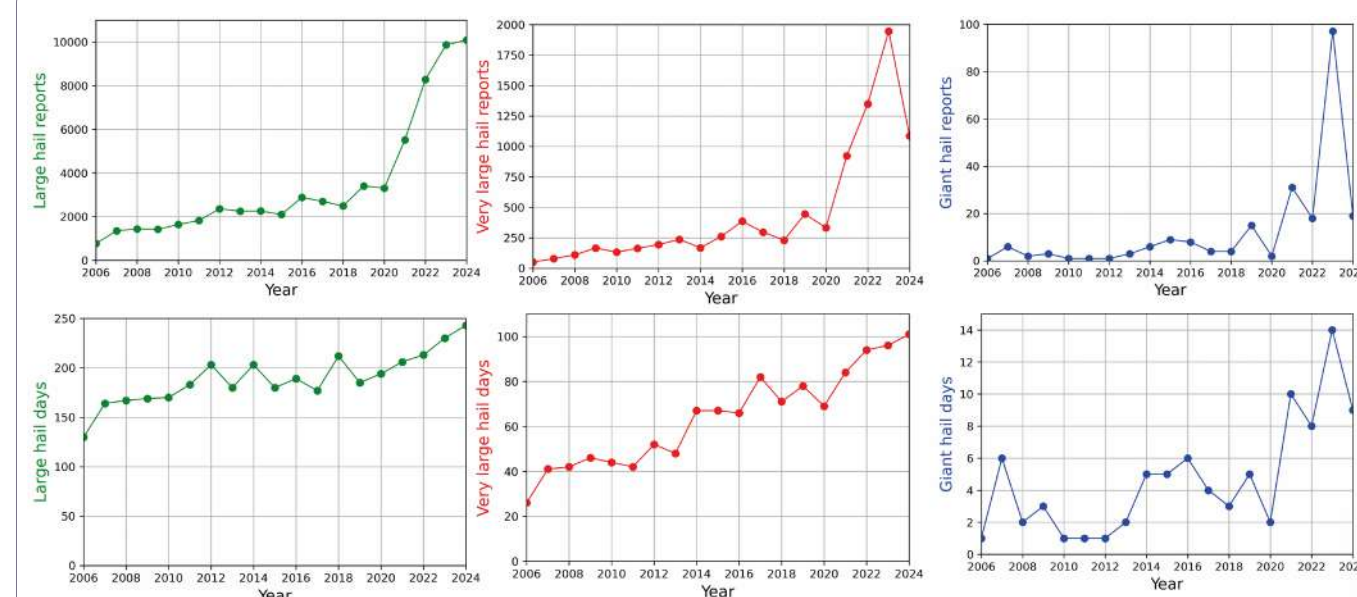
¹⁶⁹Ho, W.-K. et al. Sorption Behavior, Speciation, and Toxicity of Microplastic-Bound Chromium in Multisolute Systems. Environ. Sci. Technol. Lett. 10, 27–32 (2023). <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.2c00689>

¹⁷⁰Harrison, R. G. Atmospheric electricity and cloud microphysics <https://cds.cern.ch/record/557170/files/p75.pdf>

¹⁷¹The Pennsylvania State University News. Microplastics impact cloud formation, likely affecting weather and climate. (2024) <https://www.psu.edu/news/research/story/microplastics-impact-cloud-formation-likely-affecting-weather-and-climate>

¹⁷²Wang, Y., Okochi, H., Tani, Y. et al. Airborne hydrophilic microplastics in cloud water at high altitudes and their role in cloud formation. Environ Chem Lett 21, 3055–3062 (2023). <https://doi.org/10.1007/s10311-023-01626-x>

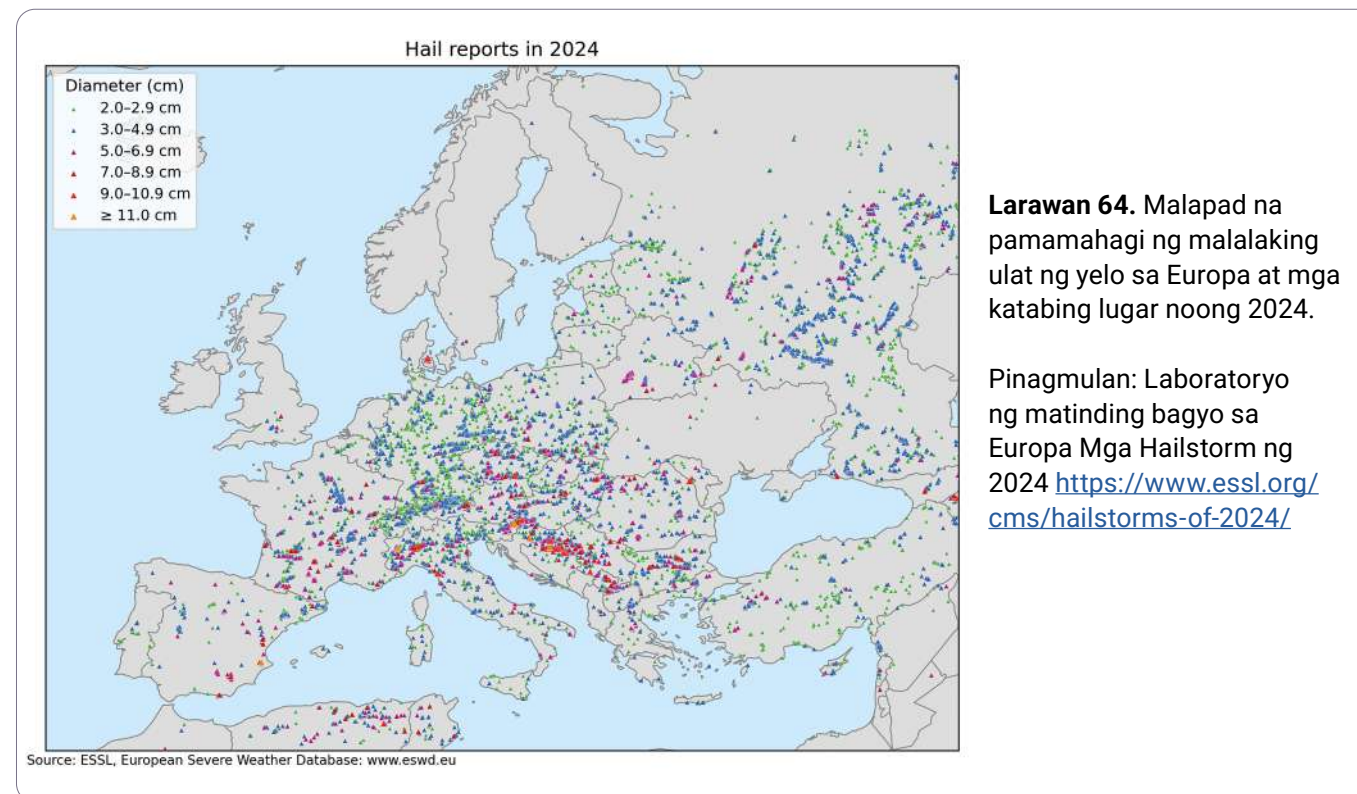
¹⁷³Busse, H. L., Ariyasena, D. Dh., Orris J. & Freedman, M. Ar. Pristine and Aged Microplastics Can Nucleate Ice through Immersion Freezing. ACS ES&T Air 1, 1579–1588 (2024). <https://doi.org/10.1021/acsestair.4c00146>



Larawan 63. Bilang ng mga ulat at araw na may malalaking (2+ cm), napakalaki (5+ cm), at higanteng (10+ cm) na yelo mula 2006 hanggang 2024.

Pinagmulan: Laboratoryo ng matinding bagyo sa Europa. Mga Hailstorm ng 2024

<https://www.essl.org/cms/hailstorms-of-2024/>



Larawan 64. Malapad na pamamahagi ng malalaking ulat ng yelo sa Europa at mga katabing lugar noong 2024.

Pinagmulan: Laboratoryo ng matinding bagyo sa Europa Mga Hailstorm ng 2024 <https://www.essl.org/cms/hailstorms-of-2024/>

Kapag ang mga nanoplastic na particle ay naroroon sa atmospera, ang mga ulap ay nagsisimulang mabuo sa mas mababang mga altitude - karaniwang mas mababa sa 2 km. Ito ay humahantong sa katotohanan na ang mga ulap ay hindi gaanong gumagalaw, na nakakasagabal sa normal na distribusyon ng pag-ulan. Bilang resulta, ang tagtuyot ay maaaring maobserbahan sa ilang mga lugar, at labis na pag-ulan sa iba.

Ang papel ng MNP sa pag-abala sa balanse ng klima ng planeta

Ang mas makapal na ulap ay nagsisimulang mag-trap ng init sa mas mababang mga layer ng atmospera, tulad ng isang kumot na sumisipsip at nagbabalik ng bahagi ng thermal radiation pabalik sa ibabaw ng lupa. Binabawasan nito ang pagkawala ng init sa espasyo at nakakatulong na magpainit sa kapaligiran. Ang tumataas na temperatura ay nagdudulot ng karagdagang tubig na sumingaw mula sa mga karagatan, at ang mas maraming kahalumigmigan sa atmospera ay humahantong sa karagdagang pag-init. Ito ay isang mabisyo na ikot. Mahalagang tandaan na para sa bawat antas ng pag-init, ang dami ng kahalumigmigan sa hangin ay tumataas ng humigit-kumulang 7%¹⁷⁴, at ang dalas ng kidlat ay tumataas ng 12%¹⁷⁵.

66

Gaya ng sinabi ni Kevin Trenberth, kilalang climatologist sa US pambansang sentro para sa pagsasaliksik sa atmospera (NCAR), ang nangungunang may-akda ng mga ulat ng IPCC: ***“Ang kumbinasyon ng mas mataas na temperatura at mas maraming singaw ng tubig sa atmospera ay ginagawang mas hindi matatag. Ito ay humahantong sa mas maraming kombeksyon at mas maraming bagyo. Ang ilan sa mga bagyong ito, ang pinakamalakas na bagyo, ay nagiging mga bagyo sa ilalim ng mga pagkulong at pagkulong.***

Kapag nagsimulang magsama-sama at makipag-ugnayan ang mga pagkulong at pagkidlat, tulad ng ginagawa nila sa mga tropikal na bagyo, maaari silang maging mas malalakas na bagyo. Ang lahat ng mga salik na ito ay nagdaragdag, na nagdaragdag ng panganib ng mga bagyo, matinding bagyo, lalo na ang mga supercell na bagyo na nagbubunga ng granizo at, sa ilang mga lugar, sa ilalim ng tamang mga kondisyon, ay maaaring magdulot ng mga buhawi.”

Kaya, ang matinding pag-init ng karagatan, labis na kuryente at init sa atmospera ay nagpapalala sa sitwasyon ng klima, na humahantong sa mas mapangwasak na mga kaganapan sa klima tulad ng matinding pagkulong, pagkidlat at bagyo.

Ang plastik sa atmospera ay hindi lamang nagpaparumi sa kapaligiran, ngunit nagbabago rin sa mga proseso ng klima, na nakakaapekto sa pagbuo ng mga ulap at pag-ulan. Pinatataas nito ang electrostatic charge sa atmospera, pinapabilis ang condensation ng water vapor at naaapektuhan ang density ng mga ulap, na maaaring humantong sa pagtaas ng intensity ng mga bagyo, thunderstorm at iba pang mapanirang natural na phenomena. Nasa bingit na tayo ng pag-unawa sa malakihang mga kahihinatnan ng epektong ito sa klima, na nangangailangan ng madalian at komprehensibong mga hakbang upang mabawasan ang polusyon ng plastic particle sa mga karagatan at atmospera.

¹⁷⁴NASA. Steamy relationships: How atmospheric water vapor amplifies Earth's greenhouse effect. (2022)

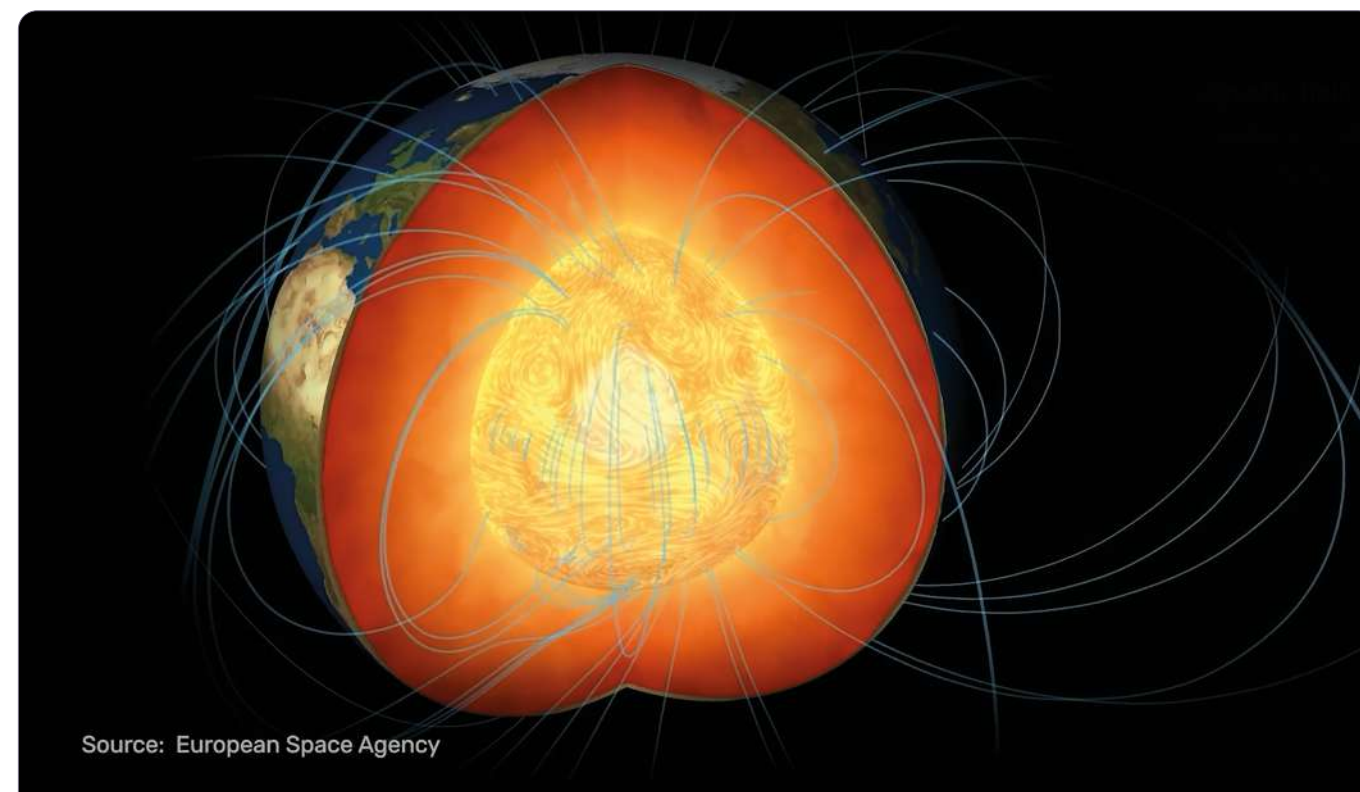
<https://science.nasa.gov/earth/climate-change/steamy-relationships-how-atmospheric-water-vapor-amplifies-earths-greenhouse-effect>

¹⁷⁵ Romps, D. M., Seeley, J. T., Vollaro, D. & Molinari, J. Projected increase in lightning strikes in the United States due to global warming. Science 346, 851–854 (2014). <https://doi.org/10.1126/science.1259100>

Pakikipag-ugnayan ng karagatan sa magnetic field ng Earth

Ang mga karagatan ay sumasakop sa halos 70% ng ibabaw ng Earth at hindi lamang mga higanteng reservoir ng tubig, kundi pati na rin ang mga mahahalagang elemento sa kumplikadong mga proseso ng elektrikal ng planeta. Nakikipag-ugnayan sila sa magnetic field ng Earth, na nakikilahok sa mga prosesong electromagnetic nito.

Pinoprotektahan ng magnetic field ng Earth ang ibabaw ng planeta mula sa solar wind at cosmic radiation, na kumikilos bilang isang natural na kalasag. Kung wala ang larangang ito, masisira ang kapaligiran. Ang geomagnetic field ay nilikha nang malalim sa loob ng planeta kung saan ang likidong panlabas na core, na gawa sa mga metal, ay gumagalaw sa paligid ng solid na panloob na core, na lumilikha ng isang natural na generator - isang proseso na tinatawag na geodynamo (Larawan 65).



Source: European Space Agency

Larawan 65. Schematic na representasyon ng proseso ng geomagnetic field formation: ang likidong panlabas na core ng Earth ay umiikot sa paligid ng solid inner core, na bumubuo ng natural na generator - ang geodynamo, na lumilikha ng magnetic field ng planeta.

Pinagmulan: European Space Agency (ESA) <https://www.esa.int/>

Ang magnetic field ng Earth ay nakikipag-ugnayan sa mga electrical phenomena sa mga karagatan at atmospera. Ang tubig-dagat, dahil sa nilalaman ng mga asing-gamot at natunaw ions, ay may makabuluhang electrical conductivity, na nagbibigay-daan dito upang magsagawa ng mga electric current. Ang mga alon na ito, sa turn, ay nakikipag-ugnayan sa magnetic field, na lumilikha ng mga kumplikadong proseso ng electromagnetic na gumaganap ng isang papel sa dynamics ng planetary magnetic field.

Tulad ng tinalakay kanina, ang polusyon sa karagatan, lalo na sa micro- at nanoplastics, ay maaaring magbago ng kemikal at elektrikal na katangian ng tubig. Kung mas mataas ang konsentrasyon ng mga pollutant, mas maraming natural na proseso ng electromagnetic ang naaabala.

Kapag ang kontaminadong tubig ay sumingaw, ang mga microscopic droplet at aerosol ay maaaring maghatid ng mga micro- at nanoplastics, mabibigat na metal¹⁷⁶, at iba pang mga sangkap sa atmospera, na maaaring makaapekto sa mga lokal na proseso ng electromagnetic. Ito ay katulad ng kung paano binabago ng isang metal na bagay na inilagay malapit sa isang magnet ang pamamahagi ng magnetic field, na nagpapahina sa lakas nito sa isang partikular na lugar.

Ang epekto ng polusyon sa karagatan sa magnetic field ng Earth ay nangangailangan ng karagdagang pag-aaral, lalo na sa konteksto ng pandaigdigang pagbabago ng klima. Ang pag-unawa sa mga prosesong ito ay maaaring makatulong sa pagtatasa ng kanilang potensyal na epekto sa sistema ng klima at mga ecosystem ng planeta.

¹⁷⁶Ho, W.-K. et al. Sorption Behavior, Speciation, and Toxicity of Microplastic-Bound Chromium in Multisolute Systems. Environ. Sci. Technol. Lett. 10, 27–32 (2023). <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.2c00689>

ANG EPEKTO NG MICRO- AT NANOPLASTICS SA KALUSUGAN NG TAO



“Ang plastik ay hindi lamang nagpaparumi sa ating mga karagatan at mga daluyan ng tubig at pumapatay sa buhay-dagat - ito ay nasa ating lahat, at hindi natin maiiwasan ang pagkonsumo ng plastik. Ang pandaigdigang pagkilos ay apurahan at kinakailangan upang labanan ang krisis na ito”.

Marco Lambertini
CEO ng WWF Internasyonal

Micro- at Nanoplastics bilang isang bagong kadahilanan ng panganib para sa pag-unlad ng mga epidemya sa ika-21 siglo

Ang huling 30 taon ay nakakita ng patuloy na pagtaas ng mga atake sa puso, stroke, cancer, diabetes, allergy, at nagpapaalab na sakit sa bituka. Ang pagbaba ng kaligtasan sa sakit ay sinusunod sa parehong mga bata at matatanda sa buong mundo. Ang pagkalat ng kawalan ng katabaan ay lumalaki. Kahit na sa kabila ng limitadong data sa bilang ng mga baog na tao at mag-asawa, ayon sa Organisasyon sa kalusugan ng mundo humigit-kumulang 17.5% ng mga nasa hustong gulang na¹⁷⁷, o halos bawat ikaanim na tao sa mundo, ay nakakaranas na ng pagkabaog.

Mula noong 2010, nagkaroon ng pagbaba sa mga kakayahan sa intelektwal sa mga tao. Kahit sa mga mauunlad na bansa, 25% ng mga nasa hustong gulang ay hindi makayanan ang mga pangunahing problema sa matematika; halimbawa, sa Estados Unidos ang bilang na ito ay umabot sa 35%. Ang kakayahang mag-concentrate, mag-isip nang lohikal, at malutas ang mga elementarya na problema ay bumababa. Ang pagkalat ng iba't ibang anyo ng demensya at kapansanan sa pag-iisip ay lumalaki¹⁷⁸.

Ang paglaki ng mga karamdaman sa pag-iisip ay lumalampas sa paglaki ng mga sakit sa somatic¹⁷⁹. TAnxiety disorders / Pagkabalisa, autism, depresyon, bipolar disorder, at attention deficit hyperactivity disorder (ADHD) ay umaabot sa antas ng pandemya.

Parami nang parami ang data na nagpapahiwatig ng paglahok ng micro- at nanoplastics sa pathogenesis ng iba't ibang mga sakit.

¹⁷⁷ World Health Organization. 1 in 6 people globally affected by infertility. (2023) <https://www.who.int/news/item/04-04-2023-1-in-6-people-globally-affected-by-infertility> (Accessed May 1, 2025).

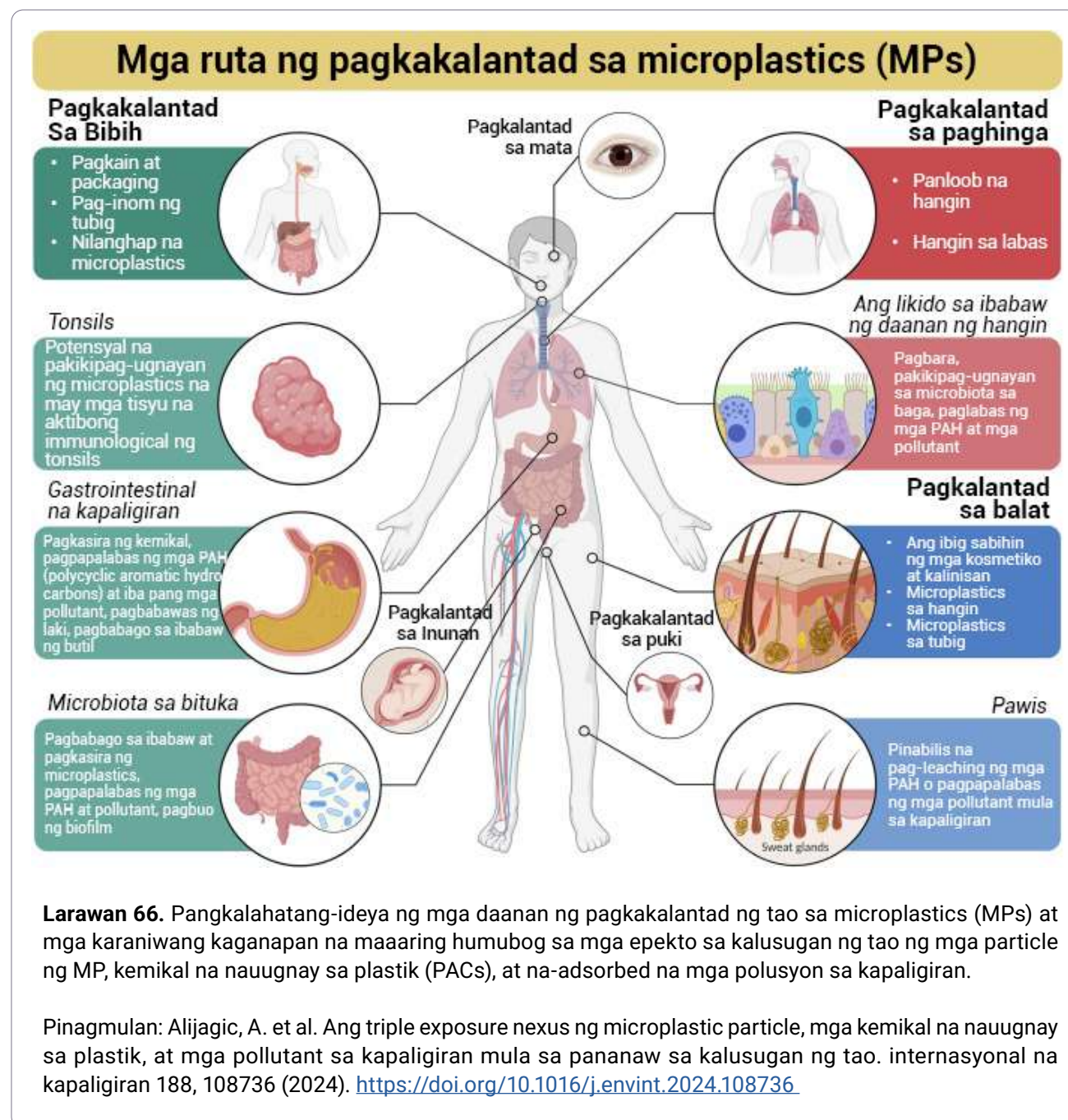
¹⁷⁸Financial Times. Have humans passed peak brain power? <https://www.ft.com/content/a8016c64-63b7-458b-a371-e0e1c54a13fc> (Accessed May 1, 2025).

¹⁷⁹Ipsos. Ipsos Health Service Report 2024: Mental Health seen as the biggest Health issue. (2024) <https://www.ipsos.com/en/ipsos-health-service-report> (accessed 1 May 2025).

Mga mekanismo ng molekular ng toxicity ng MNP.

Pinsala sa DNA, mitochondria at mga lamad ng cell

Ang mga micro- at nanoplastics (MNPs) ay isa sa pinakalaganap na anyo ng anthropogenic na polusyon sa kapaligiran. Dahil sa kanilang mga katangiang physicochemical, ang mga plastic na particle ay may kakayahang maglakbay ng mga makabuluhang distansya, na malampasan ang mga hadlang sa heograpiya at kapaligiran. Ang mga pangunahing ruta ng micro- at nanoplastics na pumapasok sa katawan ng tao ay ang paglunok (na may tubig at pagkain), paglanghap gamit ang hangin, at pagtagos sa balat (Larawan 66)¹⁸⁰.



¹⁸⁰Bora, S. S. et al. Microplastics and human health: unveiling the gut microbiome disruption and chronic disease risks. Front. Cell. Infect. Microbiol. 14, 1492759 (2024). <https://doi.org/10.3389/fcimb.2024.1492759>

Tulad ng nabanggit sa seksyon: **“Mga kahihinatnan ng polusyon sa plastik: micro- at nanoplastics (MNPs) bilang isang bagong kadahilanan sa krisis sa planeta”**, ang kapaligiran ng dagat ay nagsisilbing isang makabuluhang mapagkukunan ng pangalawang microplastics. Tinatayang ang simoy ng dagat ay nagdadala ng humigit-kumulang 136 libong tonelada ng microplastics sa mga lugar sa baybayin taun-taon. Bilang karagdagan, ang mga bukas na anyong tubig sa mga urbanisadong lugar, kabilang ang mga sistema ng dumi sa alkantariya at tubig-ulan, ay nagiging mga makabuluhang sentro para sa akumulasyon at karagdagan pamamahagi ng mga plastik na particle, na ang halaga ay maaaring lumampas sa mga nakaraang pagtatantya ng 90%.

Ang mga produktong pagkain ay isang mahalagang ruta para makapasok ang mga MNP sa katawan ng tao. Ang mga halaman ay nakakaipon ng nanoplastics sa pamamagitan ng root system: kapag natubigan o sa panahon ng pag-ulan, ang mga particle ay tumagos sa lupa at nasisipsip kasama ng tubig, gumagalaw kasama ang xylem at naipon sa mga tisyu ng mga dahon at prutas¹⁸¹. Ang pinakamataas na nilalaman ng plastic particle ay natagpuan sa mga pananim tulad ng mansanas, peras, karot at broccoli.

Ang pagkaing dagat ay isa rin sa mga ruta para sa paglipat ng mga MNP. Ang paglunok ng microplastics ng mga marine organism ay naitala sa lahat ng antas ng trophic. Ayon sa isang pag-aaral ng Newcastle University, ang karaniwang tao ay maaaring kumonsumo ng hanggang 250 g ng microplastics bawat taon, na katumbas ng humigit-kumulang 5 g bawat linggo - ang bigat ng isang plastic card. Bilang karagdagan, ang pag-init ng mga plastic na lalagyan, kabilang ang pagkain ng sanggol, sa mga microwave oven ay maaaring maglabas ng higit sa 2 bilyong nanoparticle at 4 na milyong microplastics bawat square centimeter ng surface area sa pagkain.

Ang microplastics ay laganap sa inuming tubig. Ipinapakita ng mga pag-aaral na hanggang 90% ng mga sample ng tubig sa gripo sa United States ay naglalaman ng mga particle ng MNP. Ang mga pangunahing ruta ng pagpasok sa mga sistema ng tubig ay runoff, industrial emissions, at precipitation na naglalaman ng plastic na nakuha mula sa hangin. Kapag ang kontaminadong tubig ay sumingaw, ang mga plastik na particle ay maaaring tumaas sa atmospera at pagkatapos ay bumagsak kasama ng ulan o niyebe. Ang isang pag-aaral na isinagawa sa 11 pambansang parke ng U.S. ay nagtala ng pagbagsak ng mahigit 1,000 tonelada ng mga plastik na particle sa loob ng 14 na buwan—sapat na upang makagawa ng 120 milyong bote ng plastik.

Ang aerosol dispersal ng mga MNP ay isa sa mga pinaka-mapanganib na mekanismo ng epekto nito sa kapaligiran. Ang pagkalat ng aerosol ng microplastics ay isa sa mga pinaka-mapanganib na mekanismo ng epekto nito sa mga tao. Ang mga plastik na particle ay tumataas mula sa ibabaw ng mga dagat at anyong tubig, dinadala ng mga masa ng hangin at nagiging bahagi ng atmospheric aerosol. Ipinakikita ng mga pagtatantya na sa isang megacity, ang isang may sapat na gulang ay maaaring makalanghap ng hanggang 106 libong microplastic na particle sa loob ng dalawang oras na paglalakad, at sa mga lugar na katabi ng mga anyong tubig, ang figure na ito ay tumataas ng 10 beses.

¹⁸¹Azeem, I. et al. Uptake and Accumulation of Nano/Microplastics in Plants: A Critical Review. Nanomaterials 11, 2935 (2021). <https://doi.org/10.3390/nano11122935>

Ang isang bagong pag-aaral na ipinakita sa kolehiyo ng amerikano ng kumperensya ng cardiology (ACC.25) ay natagpuan na ang mas mataas na pagkakalantad sa microplastics, na maaaring hindi sinasadyang natupok o malalanghap, ay nauugnay sa isang pagtaas ng pagkalat ng mga malalang sakit na hindi nakakahawa. Nalaman ng pag-aaral na sa mga komunidad na matatagpuan sa kahabaan ng silangan, kanlurang Gulf Coast, at ilang baybayin ng lawa sa Estados Unidos, ang mas mataas na konsentrasyon ng microplastics sa kapaligiran ay nauugnay sa mas mataas na pagkalat ng mga talamak na hindi nakakahawang sakit tulad ng hypertension, diabetes, at stroke.

66

“Ang pag-aaral na ito ay nagbibigay ng paunang katibayan na ang microplastic exposure ay nakakaapekto sa kalusugan ng cardiovascular, lalo na ang mga talamak na noncommunicable na sakit tulad ng high blood pressure, diabetes, at stroke,” sabi ni Sai Rahul Ponnana, MS, isang research data scientist sa Case Western Reserve paaralan ng medisina sa Ohio at nangungunang may-akda ng pag-aaral. ***“Kapag isinama namin ang 154 iba’t ibang mga sosyo-ekonomiko at kapaligiran na katangian sa aming pagsusuri, hindi namin inaasahan na ang microplastics ay nasa nangungunang 10 sa paghula sa paglaganap ng mga malalang sakit na hindi nakakahawa.”***¹⁸²

Ang mga micro- at nanoplastics ay nagagawang tumagos sa mga biyolohikal na hadlang, kabilang ang mga sa bituka, baga, utak, at inunan¹⁸³. Ang mga microplastics na nakalantad sa sariwa o tubig dagat ay mas madaling dinadala sa mga selula (Larawan 67) dahil sa pag-deposito ng mga biomolecules sa kanilang ibabaw. Ang mga biomolecule na ito, sa pamamagitan ng pagbuo ng isang patong, ay nagpapadali sa pagpasa nito sa digestive tract at ang pagsasama ng microplastics sa mga tisyu. Ang patong na ito ay gumaganap bilang isang mekanismo na nagpapadali sa pagtagos ng plastic sa mga selula, katulad ng isang Trojan horse¹⁸⁴.

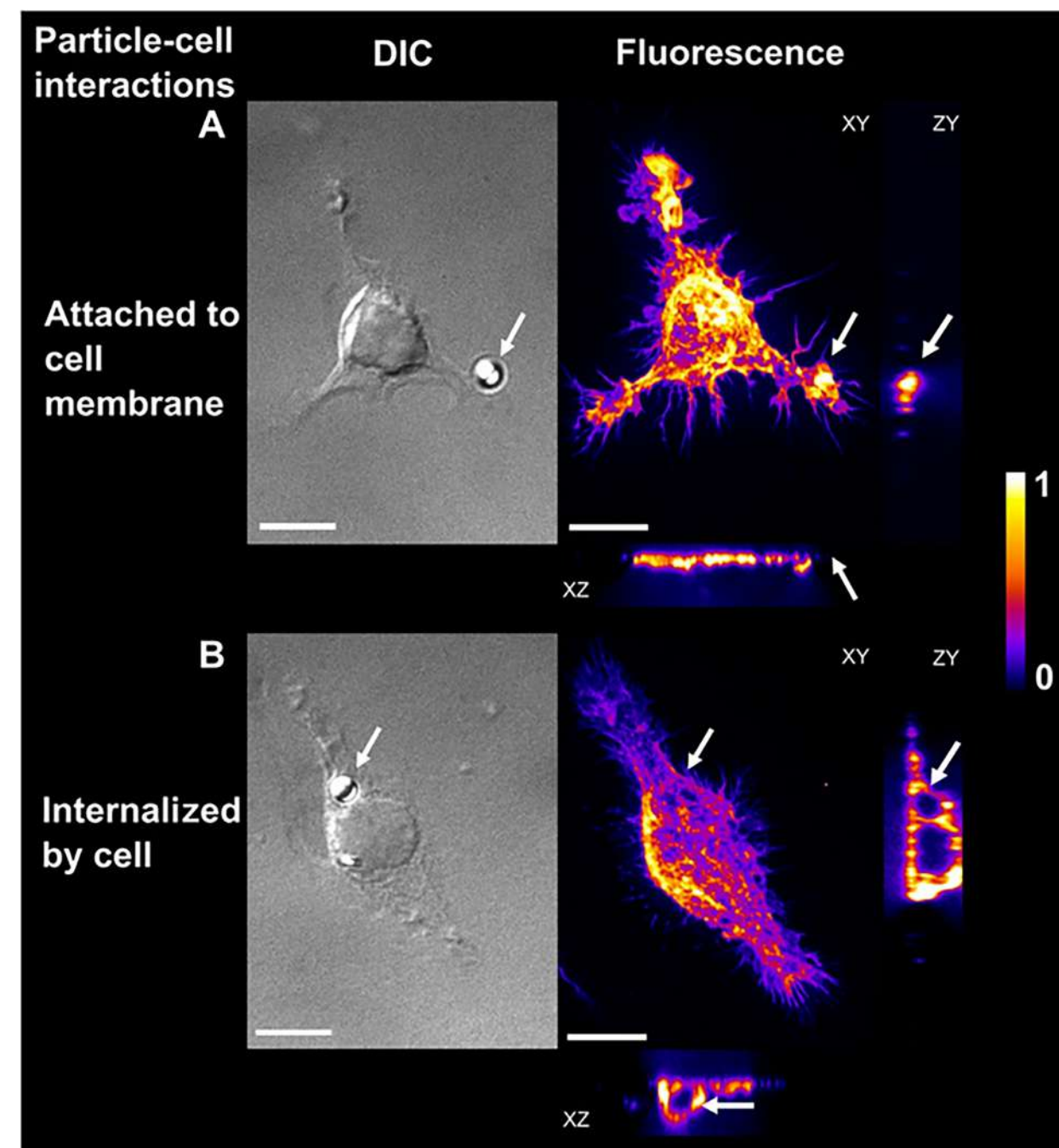
¹⁸²American College of Cardiology. New evidence links microplastics with chronic disease. (2025)

<https://www.acc.org/About-ACC/Press-Releases/2025/03/25/10/19/New-Evidence-Links-Microplastics-with-Chronic-Disease> (Accessed May 1, 2025).

¹⁸³ Alqahtani, S., Alqahtani, S., Saqib, Q. & Mohiddin, F. Toxicological impact of microplastics and nanoplastics on humans: understanding the mechanistic aspect of the interaction. Front. Toxicol. 5, 1193386 (2023). <https://doi.org/10.3389/ftox.2023.1193386>

¹⁸⁴ Ramsperger, A. F. R. M. et al. Environmental exposure enhances the internalization of microplastic particles into cells. Sci. Adv. 6, eabd1211 (2020).

<https://doi.org/10.1126/sciadv.abd1211>



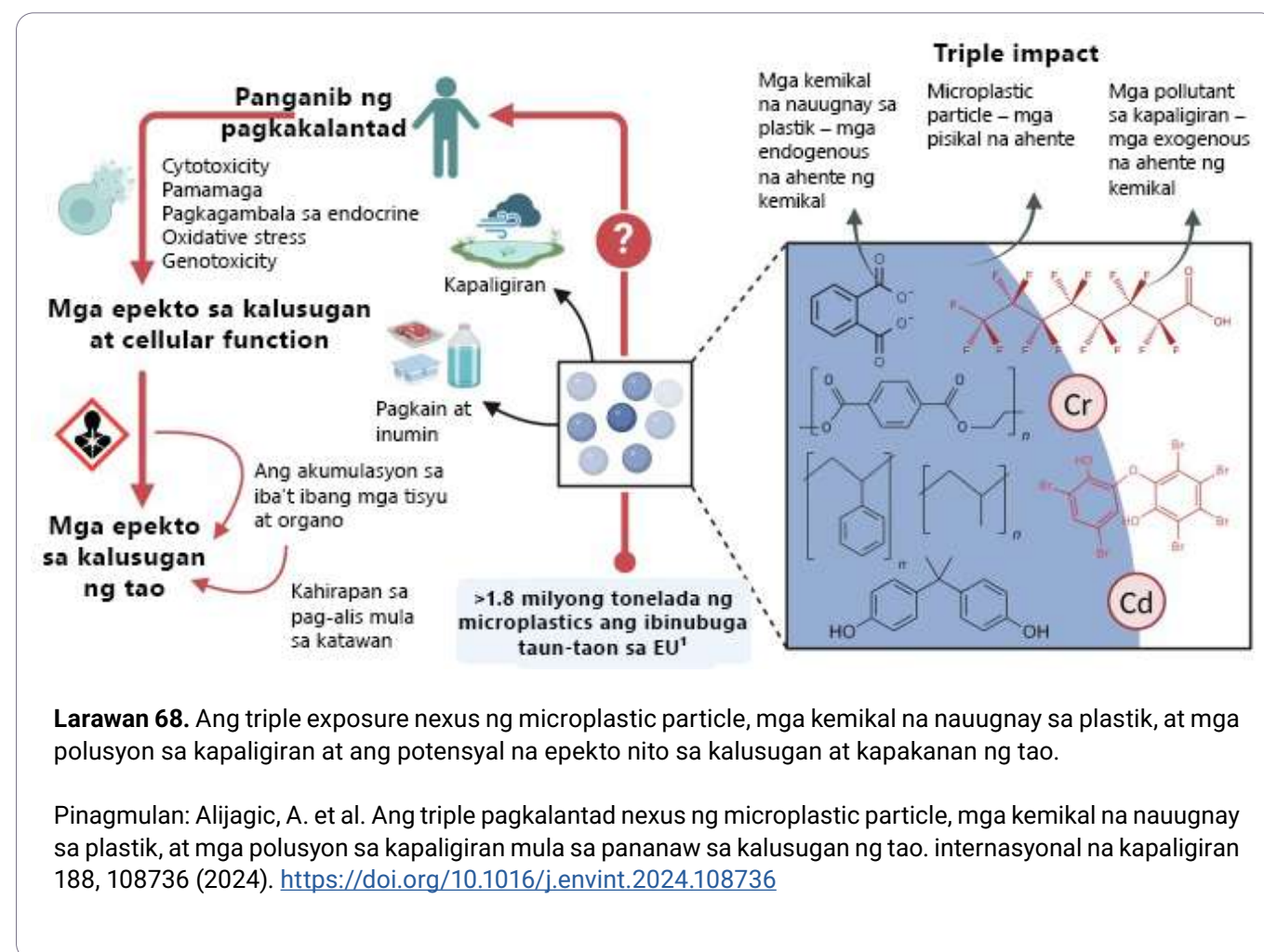
Larawan 67. Mga larawan ng pakikipag-ugnayan ng particle-cell ng mga microplastic na particle na nakalantad sa tubig-tabang sa loob ng 2 linggo.

Pagkakaiba ng interference contrast mikroskopiko na larawan ng mga particle-cell na pakikipag-ugnayan. Fluorescence: Mga confocal na larawan ng isang umiikot na disk ng mga selula na may fluorescently na may label na filamentous actin (maling kulay na imahe, Pinakamataas intensity projection na nagpapakita ng mga arbitrary na unit). Ang XY, YZ, at XZ na mga projection ng 3D confocal na larawan ay nagbibigay-daan sa pagkakaiba sa pagitan ng microplastic particle (A) na nakakabit sa mga lamad ng selula o (B) internalized microplastic particle. Ang mga arrow ay nagpapahiwatig ng posisyon ng mga microplastic na particle. Mga scale bar: 10 μ m.

Pinagmulan: Ramsperger, A. F. R. M. et al. Pinahuhusay ng pagkakalantad sa kapaligiran ang pagsasanib ng mga microplastic na particle sa mga selula. Sci. Adv. 6, eabd1211 (2020). <https://doi.org/10.1126/sciadv.abd1211>

Ang toxicity ng microplastics ay nakasalalay sa maraming mga kadahilanan: laki, hugis, singil sa ibabaw, antas ng lagay ng panahon, oras ng pagkakalantad, komposisyon ng mga additives, at iba pang mga katangian¹⁸⁵. Ang mas maliliit na particle ay mas madaling tumagos sa mga cell at nagiging sanhi ng mas malinaw na oxidative stress. Ang singil sa ibabaw ng microplastics ay isang pangunahing parameter na tumutukoy sa kahusayan ng cellular uptake (nakakaapekto sa pagdirikit). Bilang karagdagan, ang microplastics ay binubuo ng mga polimer at iba't ibang mga additives na nagpapahusay sa kanilang negatibong epekto¹⁸⁶.

Ang mga micro- at nanoplastic na particle, mga kemikal na compound sa plastic, at mga pollutant sa kapaligiran na ang mga plastic adsorbs ay may kumplikadong¹⁸⁷ negatibong epekto sa kalusugan ng tao (Larawan 68), na nagdudulot ng malaking banta.



¹⁸⁵Li, Y. et al. Potential Health Impact of Microplastics: A Review of Environmental Distribution, Human Exposure, and Toxic Effects. Environ. Health 1, 249–257 (2023). <https://doi.org/10.1021/envhealth.3c00052>

¹⁸⁶Alijagic, A. et al. The triple exposure nexus of microplastic particles, plastic-associated chemicals, and environmental pollutants from a human health perspective. Environment International 188, 108736 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.108736>

¹⁸⁷Shanwei Government. Content on environmental health. Microplastics found in the human body for the first time, are they harmful to health? Here's the answer. https://www.shanwei.gov.cn/swbj/467/503/content/post_550539.html (Accessed May 1, 2025).

Ang 1 gramo ng microplastics ay maaaring maglaman ng hanggang 24,000 nanograms ng patuloy na mga organikong pollutant¹⁸⁷. Ang mga elementong ito ay sobrang nakalalason, naiipon sa mga organismo, at maaaring makadulot ng panganib kahit na sa maliliit na konsentrasyon.

Ang microplastics ay maaaring gawing mas mapanganib ang iba pang mga pollutant¹⁸⁸ dahil ang microplastics at ang pinaghalong mga sangkap sa kanilang mga ibabaw ay hindi lamang makakadikit sa iba pang mga pollutant, ngunit nakikipag-ugnayan din sa isa't isa, binabago ang kanilang mga kemikal na katangian.

Ipinapakita ng pananaliksik na ang pagkakalantad sa micro- at nanoplastics ay nagdudulot ng mga nakakalason na epekto sa iba't ibang antas ng biological na organisasyon:

- **Macromolecules:** Pagkasira ng DNA, pagkagambala sa pagpapahayag ng gene, at mga pagbabago sa transkripsyon ng protina.
- **Mga selula at organelles:** May kapansanan sa paghahati ng selula, cytotoxicity, apoptosis, oxidative stress, metabolic dysregulation, at tumaas na mga konsentrasyon ng intracellular calcium.
- **Tissue:** Pamamaga, fibrosis, osteolysis ng bone tissue.
- **Mga organo:** Mga tugon sa immune, dysfunction ng organ, neurotoxicity, carcinogenesis, mga pagbabago sa metabolismo at balanse ng enerhiya.
- **Mga populasyon ng hayop at tao:** Nabawasan ang pagkamayabong, pagpapahina ng paglago, pag-depopulasyon.

Itinatampok ng mga epektong ito ang multi-level na epekto ng micro- at nanoplastics sa mga biological system¹⁸⁹.

1. Pagkagambala sa mga function ng cellular

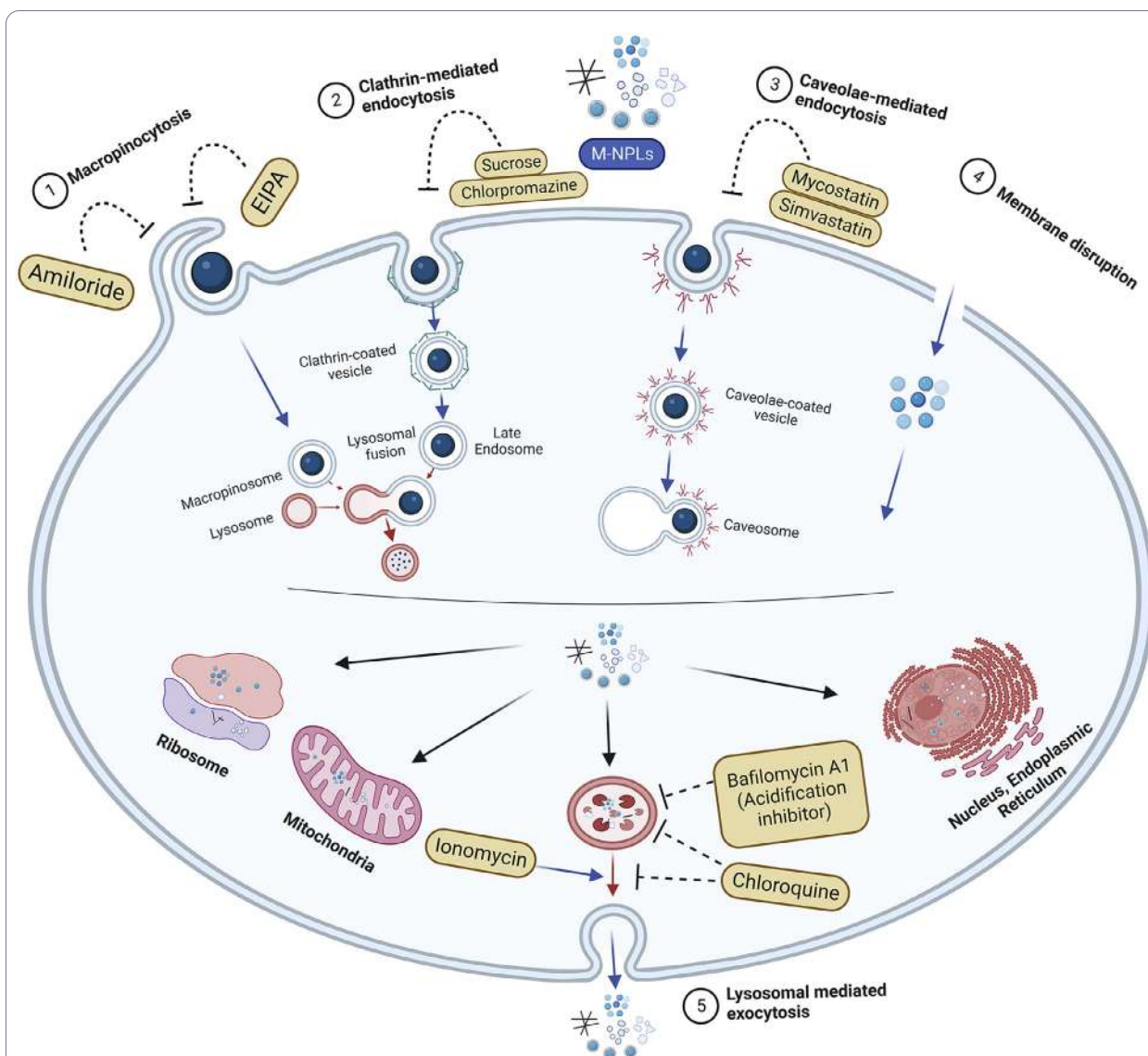
Ang pagkasira ng organismo sa ilalim ng impluwensya ng MNP ay nagsisimula sa cellular level¹⁹⁰. Nakikipag-ugnayan ang MNP sa mga cellular membrane sa pamamagitan ng iba't ibang mekanismo, kabilang ang hydrogen, halogen bond, pati na rin ang hydrophobic, van der Waals at electrostatic na mga pakikipag-ugnayan. Gumaganap bilang isang destabilizing factor, sinisira ng MNP ang integridad at paggana ng mga cellular membrane (Larawan 69).

¹⁸⁷Shanwei Government. Content on environmental health. Microplastics found in the human body for the first time, are they harmful to health? Here's the answer. https://www.shanwei.gov.cn/swbj/467/503/content/post_550539.html (Accessed May 1, 2025).

¹⁸⁸Ho, W.-K. et al. Sorption Behavior, Speciation, and Toxicity of Microplastic-Bound Chromium in Multisolute Systems. Environ. Sci. Technol. Lett. 10, 27–32 (2023). <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.2c00689>

¹⁸⁹Kaushik, A., Singh, A., Kumar Gupta, V. & Mishra, Y. K. Nano/micro-plastic, an invisible threat getting into the brain. Chemosphere 361, 142380 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.142380>

¹⁹⁰Khan, A. & Jia, Z. Recent insights into uptake, toxicity, and molecular targets of microplastics and nanoplastics relevant to human health impacts. iScience 26, 106061 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.isci.2023.106061>



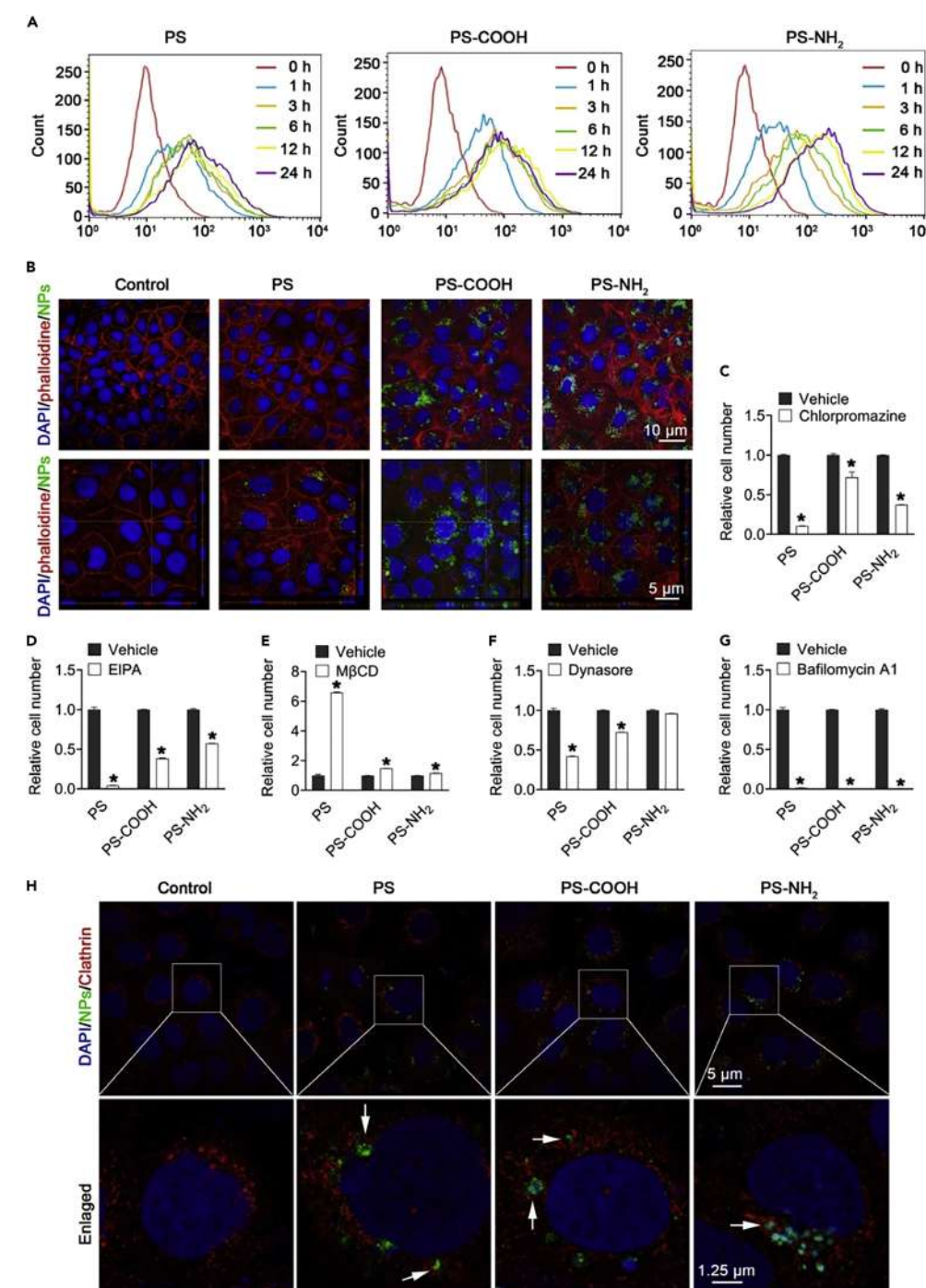
Larawan 69. Cellular uptake at release ng M-NPLs. Ang mga M-NPL ay gumagamit ng iba't ibang uri ng endocytosis.

(1) Macropinocytosis, (2) Clathrin-mediated endocytosis, (3) Caveolae-mediated endocytosis, at pagkagambala ng selula ng lamad para sa internalisasyon. Ang mga M-NPL ay pinakawalan mula sa mga selula sa pamamagitan ng 4) lysosome-mediated endocytosis.

Pinagmulan: Khan, A. & Jia, Z. Mga kamakailang insight sa uptake, toxicity, at molekular na target ng microplastics at nanoplastics na nauugnay sa mga epekto sa kalusugan ng tao. *iScience* 26, 106061 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.isci.2023.106061>

Dahil sa kanilang maliit na sukat, ang mga BNP ay madaling tumagos sa mga selula ng tao (Larawan 70). Ang maliit na sukat at electrostatic charge na naipon sa mga MNP ay tumutukoy sa kanilang sistematikong epekto sa katawan¹⁹¹.

¹⁹¹Casella, C. & Ballaz, S. J. Genotoxic and neurotoxic potential of intracellular nanoplastics: A review. *Journal of Applied Toxicology* 44, 1657–1678 (2024). <https://doi.org/10.1002/jat.4598>



Larawan 70. Caco-2 cells internalizing NP.

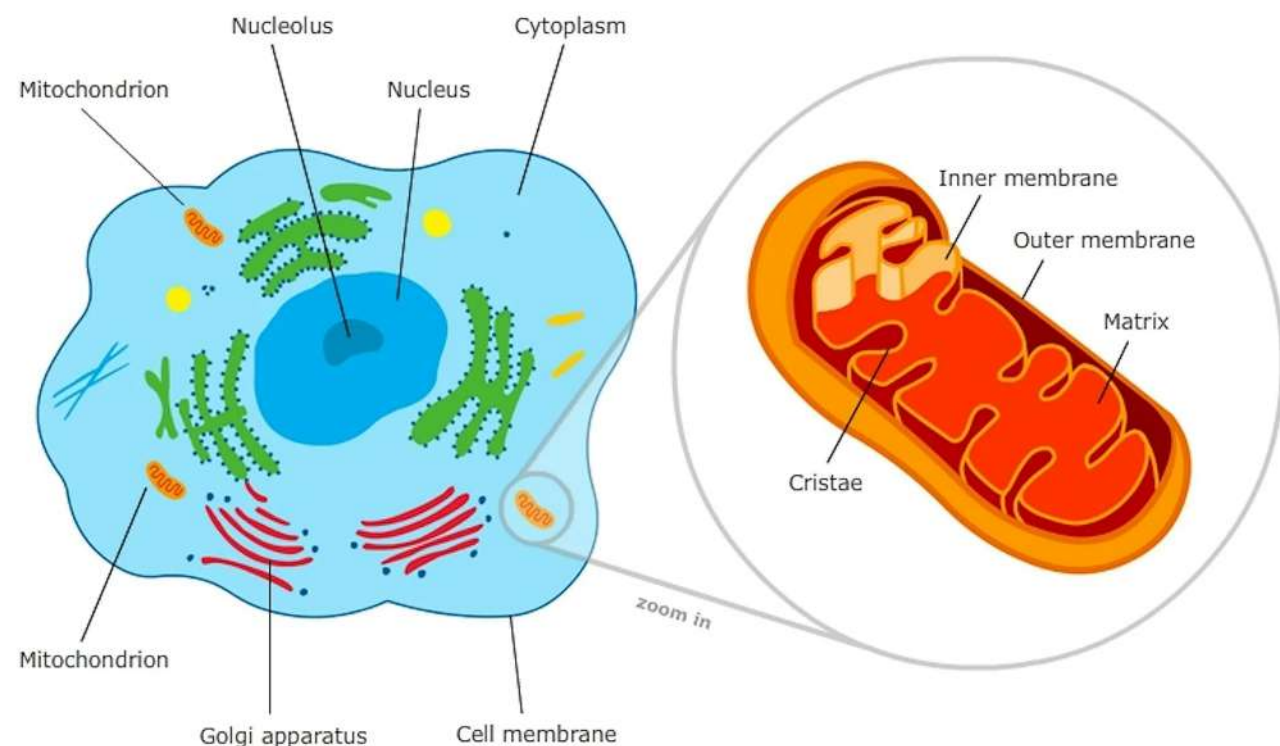
(A–G) Pagsusuri ng NP internalization ng Caco-2 cells gamit ang flow cytometry (A) at confocal microscopy (B). Ang pagsusuri ng daloy ng cytometry ng Caco-2 na mga cell ay na-pretreat ng 1 h na may chlorpromazine (C), EIPA (D), MβCD (E), dynasore (F), at bafilomycin A1 (G), na sinusundan ng paggamot sa NP sa loob ng 24 na oras. Lokalisasyon ng NP sa clathrin-mediated vesicle na sinuri ng confocal microscopy (H).

Pinagmulan: Khan, A. & Jia, Z. Mga kamakailang insight sa uptake, toxicity, at molekular target ng microplastics at nanoplastics na nauugnay sa mga epekto sa kalusugan ng tao. *iScience* 26, 106061 (2023).

<https://doi.org/10.1016/j.isci.2023.106061>

Ang pangunahing punto ng mapanirang pagkilos sa antas ng cellular ay pinsala sa mga lamad ng cell, mitochondria at pagkasira ng DNA. Ang mga electrostatically charged na particle ng micro- at nanoplastics ay may kakayahang i-destabilize ang potensyal ng lamad ng mga cell, lalo na ang mga neuron, na nagiging sanhi ng kusang mga signal ng kuryente, mga pagkagambala sa paghahatid ng impormasyon sa pagitan ng mga cell o pagkamatay ng cell.

Sa loob ng cell, ang pangunahing suntok ng mapanirang pagkilos ng nanoplastics ay nahuhulog sa mitochondria - mga pangunahing organelle na nagsisiguro sa kaligtasan ng cell at pagpapanumbalik (Larawan 71). Ang mitochondria, bilang karagdagan sa papel na ginagampanan ng “mga istasyon ng enerhiya”, ay nagsasagawa ng mga multifunctional na gawain, pagtukoy sa kalusugan ng katawan, paglaban sa stress, pag-unlad ng mga malalang sakit at proseso ng pagtanda.



© 2007-2011 The University of Waikato | www.sciencelearn.org.nz

Larawan 71. Schematic na representasyon ng isang selula, mitochondria

Ang wastong paggana ng mitochondria ay kritikal para sa selula, homeostasis, at bioenergetics. Ang istraktura at pag-andar ng mitochondrial ay pinananatili ng sistema ng kontrol sa kalidad ng mitochondrial, na binubuo ng mitochondrial biogenesis, mitochondrial dynamics (pagsasanib/fission), mitophagy, at mitochondrial unfolded protein response (UPR MT). Ang mitochondrial dysfunction at/o pinsala ay naisangkot sa pagsisimula at pag-unlad ng ilang sakit ng tao, kabilang ang neurodegenerative, cardiovascular, mga sakit na nauugnay sa edad, diabetes, at cancer. Ang stress sa kapaligiran at mga Nakakadumi ay maaaring tumaas ang pagiging sensitibo ng mitochondria sa pinsala, na nagiging sanhi ng mitochondrial dysfunction. Mayroong lumalagong ebidensya ng epekto ng nanoplastics at microplastics sa kalusugan ng mitochondrial sa paggana. Ang mga BNP ay naiulat na mag-udyok ng oxidative stress at reaktibo na paggawa ng mga species ng oxygen, na sa huli ay nagbabago ng potensyal ng mitochondrial membrane. Ang mga BNP ay maaaring tumagos sa mga biological na hadlang sa katawan ng tao at ma-internalize ng mga cell, na potensyal na nagbabago sa mitochondrial dynamics, bioenergetics, at signaling pathways, at sa gayon ay nakakaimpluwensya sa cellular metabolism at function.

Dahil sa kritikal na papel ng mitochondria sa kalusugan ng cellular at organismo, ang mga BNP ay nagdudulot ng malaking banta sa kalusugan at paggana ng mitochondrial. Binibigyang-diin ng kasalukuyang ebidensya ang pagkaapurahan ng pagtugon sa malaganap na problema ng polusyon ng BNP hindi lamang upang protektahan ang kapaligiran kundi pati na rin ang kalusugan ng tao¹⁹².

Ang Mitochondria ay nag-synthesize ng ATP, isang unibersal na molekula ng enerhiya na nagbibigay ng lahat ng biological na proseso: mula sa pag-urong ng kalamnan at paghahatid ng mga nerve impulses hanggang sa hormonal synthesis at paghahati ng selula. Nakikilahok sila sa metabolismo ng carbohydrates, fats at amino acids, at nagpapanatili din ng metabolic balance sa katawan.

Kinokontrol ng mitochondria ang pagkamatay ng selula (apoptosis), isang kritikal na mahalagang proseso na pumipigil sa akumulasyon ng mga nasira o potensyal na mapanganib na mga selula. Ang mga pagkagambala sa sistemang ito ay nauugnay sa pag-unlad ng cancer, autoimmune at neurodegenerative na mga sakit. Ang mitochondria ay gumaganap ng isang nangungunang papel sa proteksyon ng antioxidant, na kinokontrol ang antas ng reactive oxygen species (ROS). Kapag nabigo ang sistemang ito, nag-iipon ang pinsala, bumibilis ang pagtanda, at tumataas ang panganib ng talamak na pamamaga at sakit (Larawan 72).

¹⁹²Yöntem, F. D. & Ahabab, M. A. Mitochondria as a target of micro- and nanoplastic toxicity. Cambridge Prisms: Plastics 2, e6 (2024).
<https://doi.org/10.1017/plc.2024.6>

Nabawasan ang bioenergetic kapasidad ng selula

↓ ATP para sa:

- Pagtitiklop ng DNA at synthesis ng protina
- Pagbuo ng cytoskeleton
- Paggawa ng channel
- Mga proseso ng pag-aayos
- Pagtitiklop ng protina
- Pagsasama-sama ng protina at pagkagambala ng kanilang synthesis

Panmatagalang pamamaga, pagbuo ng inflammosome

Mga metabolic disorder, sarcopenia

- Paggamit ng substrate
- Oxidative stress
- Mitophagy/biogenesis

CVD

- Ca metabolismo
- Oxidative stress
- MH biogenesis

Mga karamdaman sa neurological

- Mitophagy
- Ca metabolismo
- Enerhiya/oxidative stress

PAGTATANDA

Pagkaubos ng stem cell pool

Larawan 72. Ang paglabag sa mitochondrial function na dulot ng polusyon sa kapaligiran ay maaaring humantong sa iba't ibang sakit.

Pinagmulan: Borisova, O. Mitochondrial na gamot. Buksan ang mahabang buhay. (2019) https://openlongevity.org/mitochondria_medicine_1 (Na-access: 01.05.2025).

Ang mitochondria ay may sariling DNA, na ipinadala sa pamamagitan ng linya ng ina, na ginagawa silang natatanging kalahok sa mga minanang sakit. Kinokontrol nila ang aktibidad ng mga nuclear genes at ang pagbagay ng mga cell sa mga pagbabago sa panlabas na kapaligiran. Ang mitochondria ay kasangkot din sa synthesis ng steroid hormones - cortisol, estrogens at testosterone. Ito ay ang pagkagambala ng mga pag-andar ng mitochondrial bilang isang resulta ng pagkakalantad sa nanoplastics na sumasailalim sa isang kaskad ng mga proseso ng pathological na maaaring humantong sa malubha at potensyal na hindi maibabalik na mga kahihinatnan kapwa sa paggana ng mga indibidwal na organo at system, at ang buong katawan sa kabuuan (Talahanayan 1).

Mga sakit sa neurological	Parkinson's disease, Alzheimer's disease, Amyotrophic lateral sclerosis (ALS), Epilepsy, Migraines, Mitochondrial encephalomyopathies (hal. MELAS syndrome)
Mga sakit sa cardiovascular	Cardiomyopathies, pagpalya ng puso, Atherosclerosis (sa pamamagitan ng oxidative stress)
Mga sakit sa immune at nagpapaalab	Mga sakit sa autoimmune (hal. systemic lupus erythematosus), Mga talamak na kondisyon ng pamamaga (sa pamamagitan ng dysfunction ng ROS at mga cytokine signal)
Mga metabolic disorder	Type 2 diabetes mellitus, Obesity, Metabolic syndrome, Fatty acid at lactate metabolism disorder
Mga sakit sa oncological	Sa mitochondrial dysfunction, mayroong mas mataas na panganib ng mutasyon at malignant na pagbabago ng mga selula
Mga sakit sa kalamnan	Mitochondrial myopathies, Talamak na panghihina ng kalamnan at pagkapagod
Mga sakit ng pandama na organo	Retinitis pigmentosa, Leber's optic neuropathy (namamana na pagkawala ng paningin)
Mga genetic mitochondrial syndromes	Leigh syndrome, Kearns-Sayre syndrome, Barth syndrome

Talahanayan 1. Pangkalahatang-ideya ng ilang mga sakit na nauugnay sa mitochondrial dysfunction

Pakikilahok ng BNP sa mga mekanismo ng napaaga na pagtanda at oncogenesis

Ang pagkakalantad sa nanoplastics ay maaaring magdulot ng maagang pagtanda sa pamamagitan ng pag-abala sa paggana ng mitochondria at pagkagambala sa mga genetic program ng katawan. Ang pinsala sa mitochondria ay humahantong sa labis na produksyon ng mga reactive oxygen species, na nagdudulot ng oxidative stress. Sinisira nito ang DNA, sinisira ang katatagan ng genetic, pinapagana ang pamamaga at pinabilis ang pagtanda ng tissue. Bilang karagdagan, ang mga nanoplastics ay nag-aambag sa pagpapaikli ng telomeres, na naglilimita sa kakayahan ng mga selula na hatiin.



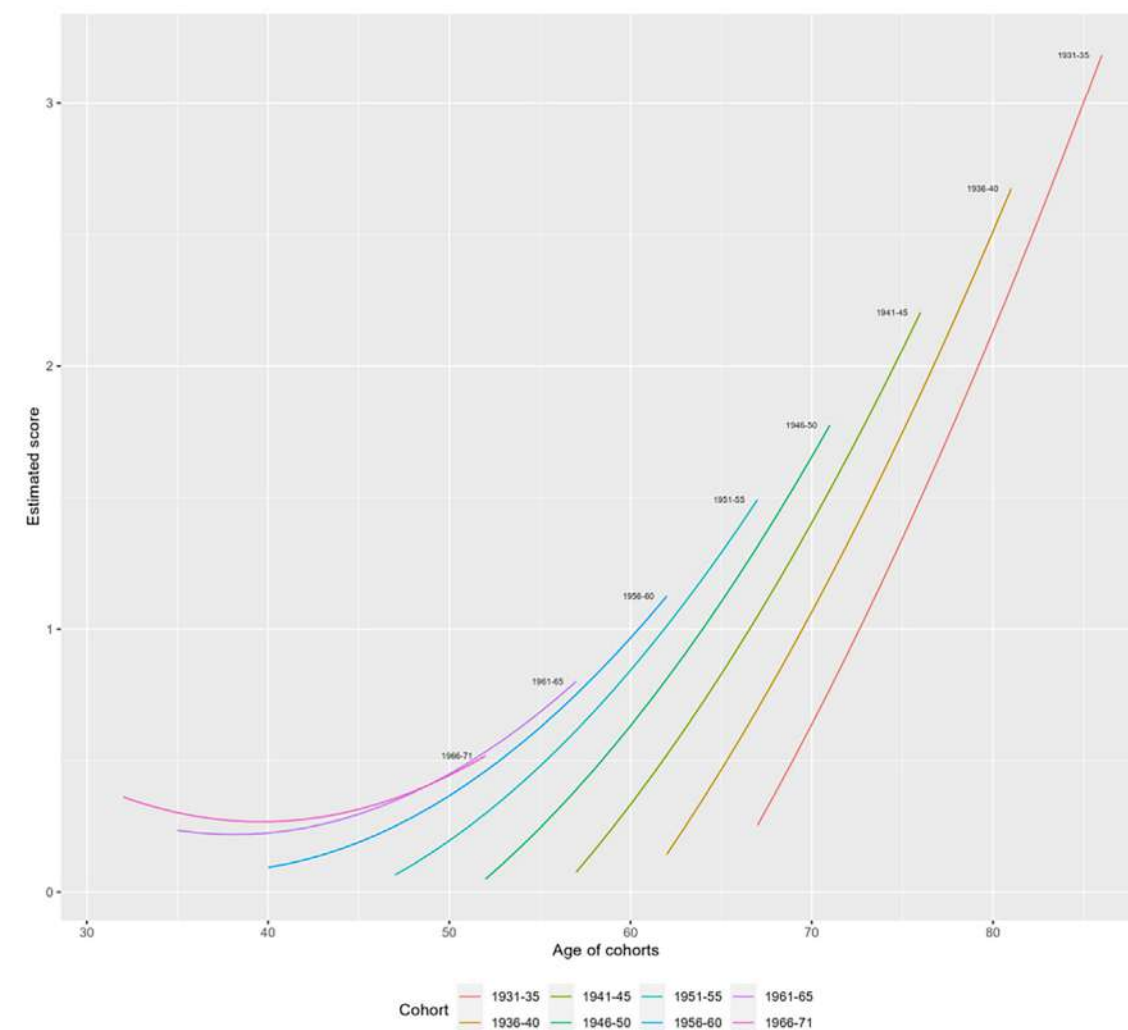
“Naipakita rin namin na sa mga tao, kahit isang pagbabago sa mitochondrial DNA nucleotide na nauugnay sa mitochondrial decline at sakit na mitochondrial sa pagkabata ay maaaring mapabilis ang proseso ng pagtanda,” sabi ni Taosheng Huang, MD, PhD, propesor at pinuno ng genetics sa Department of Pediatrics sa Jacobs School of Medicine at Biomedical Sciences sa UB. ***“Nalaman namin na ang mga reaktibong species ng oxygen mula sa mahinang mitochondrial function ay humantong sa pagtaas ng pinsala sa DNA sa paglipas ng panahon.”***¹⁹³

Ang epigenetic na pagtanda ay mga pagbabago sa regulasyon ng gene na nangyayari sa antas ng mga pagbabago sa DNA (pag-switch on/off ng mga gene), ngunit hindi binabago ang DNA mismo. Ito ay isang banayad na “molecular timer” na maaaring masukat at maaaring tumakbo nang mas mabilis o mas mabagal kaysa sa normal na pagtanda. Ang mataas na aktibidad ng mitochondrial DNA ay nauugnay sa pinabilis na pagtanda ng epigenetic. Sa ilang mga tao, ang biyolohikal na edad ng mga cell ay maaaring mas mataas kaysa sa kronolohikal na edad na nasa edad na 20–30. Ibig sabihin, mas mabilis ang pagtanda ng katawan kaysa sa nararapat.

Ang mga taong may mitochondrial disorder ay kadalasang nagkakaroon ng mga sakit na nauugnay sa edad sa murang edad, tulad ng: dementia, cardiovascular disease, arrhythmia, heart failure. Natuklasan ng mga siyentipikong taga-Scotland na kapag naipanganak ang isang tao, mas mataas ang panganib na magkasakit sa edad na 50. Halimbawa, ang mga taong ipinanganak noong 1956–1960 ay may, sa karaniwan, mas maraming sakit kaysa sa mga ipinanganak nang mas maaga—noong 1951–1955 o 1946–1950¹⁹⁴ (Larawan 73).

¹⁹³Medindia. Study unravels how mitochondrial dysfunction leads to premature aging. (2022) <https://www.medindia.net/news/study-unravels-how-mitochondrial-dysfunction-leads-to-premature-aging-208364-1.htm> (Accessed May 1, 2025).

¹⁹⁴Ribe, E., Cezard, G. I., Marshall, A. & Keenan, K. Younger but sicker? Cohort trends in disease accumulation among middle-aged and older adults in Scotland using health-linked data from the Scottish Longitudinal Study. European Journal of Public Health 34, 696–703 (2024). <https://doi.org/10.1093/eurpub/ckae062>



Larawan 73. Hinulaang mga rate ng multimorbidity ayon sa cohort at edad.

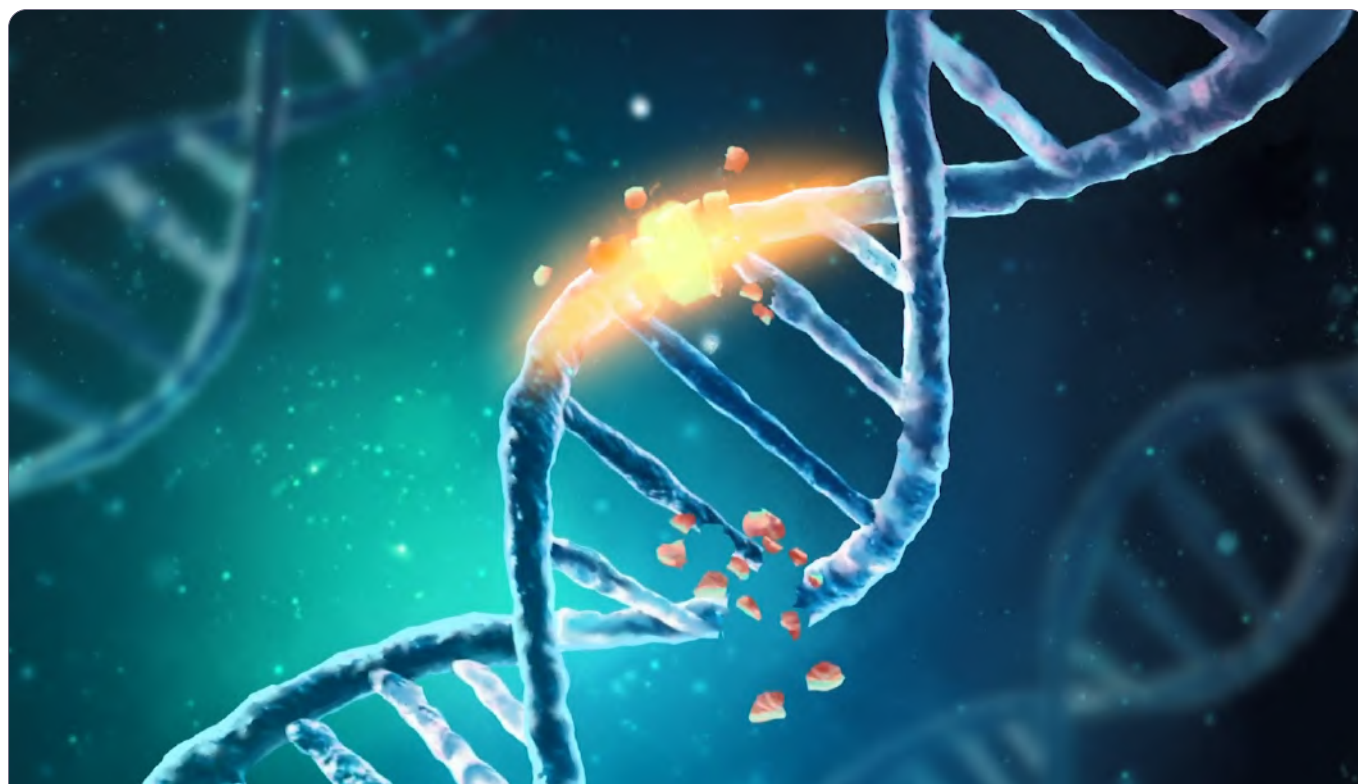
Pinagmulan: Scottish Longitudinal Study Ribe, E., Cezard, G. I., Marshall, A. & Keenan, K. Mas bata pero mas may sakit? Mga trend ng cohort sa akumulasyon ng sakit sa mga nasa katanghaliang-gulang at matatanda sa Scotland gamit ang data na nauugnay sa kalusugan mula sa Scottish longitudinal na pag-aaral. European journal ng pampublikong Kalusugan 34, 696–703 (2024). <https://doi.org/10.1093/eurpub/ckae062>

Mitochondrial DNA mutasyon sa pagtanda at Kanser

Ang mga pangunahing mekanismo na pinagbabatayan ng pagtanda at pag-unlad ng kanser ay higit na nag-tutugma. Ang isa sa mga sentral na link ay ang dysfunction ng mitochondria, ang cellular organelles na responsable para sa paggawa ng enerhiya. Habang tayo ay tumatanda, ang mga mutasyon ng mitochondrial DNA (mtDNA) ay naiipon sa mga tisyu ng tao, at ang mga katulad na pagbabago ay matagal nang natagpuan sa iba't ibang anyo ng kanser¹⁹⁵.

Kapag nag-mutate ang isang selula, maaari nitong baguhin kung paano ito gumagana. Halimbawa, ang selula ay nagsisimulang lumaki at humahati nang mas mabilis, hindi namamatay kahit na dapat, nagiging “hindi nakikita” ng immune system, at mas pinahihintulutan ang kakulangan ng oxygen o pagkain.

Ang ganitong mga cell ay nakakakuha ng isang kalamangan kaysa sa normal na mga cell - sila ay nabubuhay nang mas mahaba, mas madalas na nahahati, pinupuno ang mas maraming espasyo, at nagsimulang mangibabaw sa iba. Kapag naipon ang maraming gayong mga selula, maaaring magsimulang bumuo ang isang tumor.



Larawan 74. Pagkasira ng DNA na humahantong sa mga mutasyon

Ang mga postmitotic na selula, tulad ng mga neuron, cardiomyocytes, at ilang mga selula ng kalamnan, ay partikular na mahina sa pagkasira ng mitochondrial. Hindi sila nahahati, kaya ang mga mutasyon na naipon sa edad, lalo na sa mitochondrial DNA (Larawan 74), ay nananatili sa selula sa buong buhay nito.

¹⁹⁵Smith, A. L. M., Whitehall, J. C. & Greaves, L. C. Mitochondrial DNA mutations in ageing and cancer. *Molecular Oncology* 16, 3276–3294 (2022). <https://doi.org/10.1002/1878-0261.13291>

Ang mga postmitotic selula ay napakaaktibo: ang mga neuron ay kumonsumo ng maraming enerhiya upang magpadala ng mga signal, at ang mga selula ng puso ay patuloy na nagbobomba ng dugo, na nangangahulugan na ang mitochondria ay gumagana sa kanilang limitasyon, na gumagawa ng malaking halaga ng reactive oxygen species (ROS). Ang mga reaktibong species ng oxygen ay sumisira sa mitochondria, pinatataas ang paggawa ng bagong ROS at nag-trigger ng isang mabisyo na siklo ng pagkawasak.

Ang pinsala ay naipon, na maaaring humantong sa pagsisimula ng mga proseso ng pathological (halimbawa, neurodegenerative, cardiovascular disease, oncology) at kahit kamatayan.

Marahil ito ang nagpapaliwanag kung bakit ang mga sakit sa cardiovascular, atake sa puso, stroke at mga sakit sa oncological ang pangunahing sanhi ng kamatayan sa lahat ng iba pang sakit. At ang nakakalason na epekto ng nanoplastics sa katawan ng tao, na tumaas ng maraming beses sa nakalipas na 10-20 taon, ay nagpapaliwanag kung bakit ang mga sakit na ito ay naging mas bata at nakakuha ng mga pandemya na proporsyon, na kumukuha ng sampu-sampung milyong buhay ng tao taun-taon. Pagkatapos ng lahat, ang nanoplastics ay pangunahing sumisira sa gawain ng mitochondria, pukawin ang oxidative stress at mga mutasyon sa mitochondrial at nuclear DNA.

Destabilisasyon ng hormonal system sa ilalim ng impluwensya ng MNP

Sa paggawa ng mga plastik, ginagamit ang mga kemikal na nakakagambala sa endocrine system at hormonal balance. Nagagawa nilang gayahin, harangan o baguhin ang pagkilos ng mga natural na hormone, na maaaring humantong sa iba't ibang problema sa kalusugan.

Mahigit sa 3,000 na kemikal na ginagamit sa pag-iimpake ang nakita sa katawan ng tao¹⁹⁶. Humigit-kumulang 100 sa mga kemikal na ito ang nauuri bilang nagdudulot ng “mataas na panganib” sa kalusugan ng tao.

Bisphenol

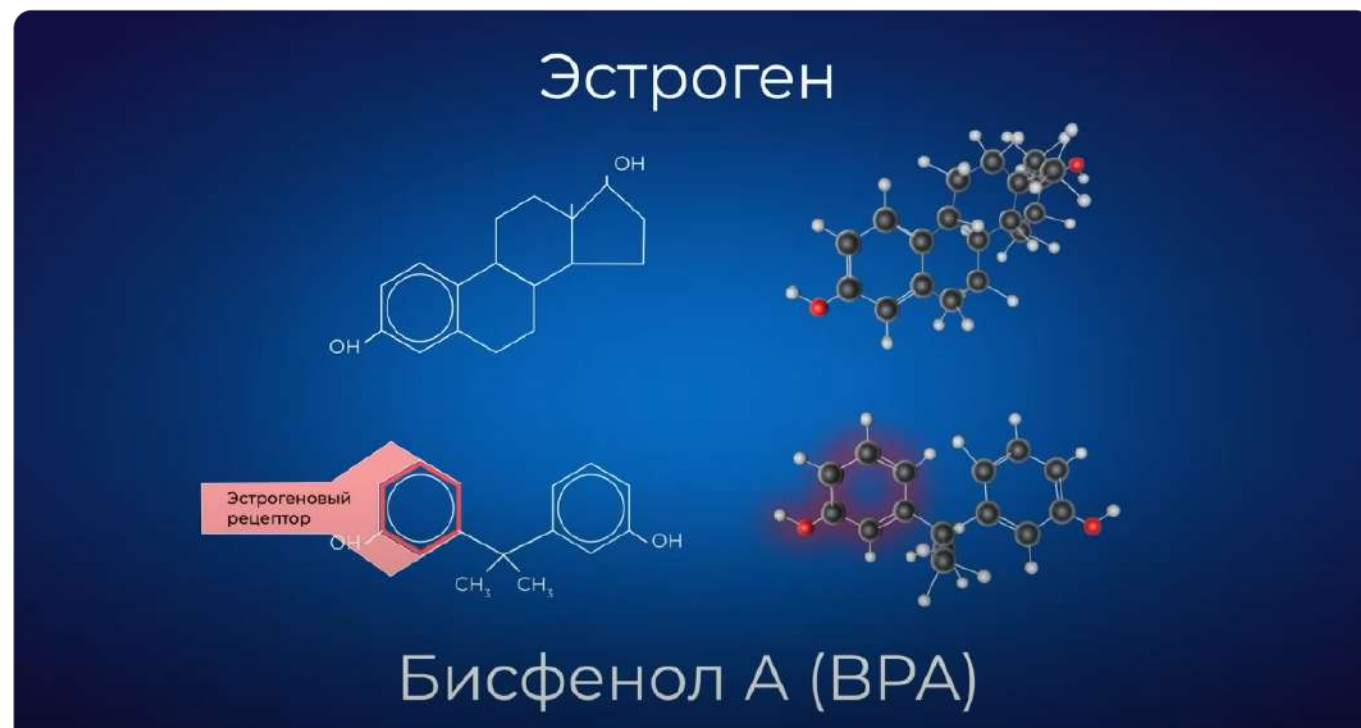
Ang Bisphenol A (BPA) ay isang sintetikong plasticizer na malawakang ginagamit sa polycarbonate na plastic (mga bote, lalagyan), epoxy resin (can coatings), at mga medikal na kagamitan.

Kapag pinainit, lumilipat ang BPA sa pagkain at inumin.

¹⁹⁶Geueke, B. et al. Evidence for widespread human exposure to food contact chemicals. *J Expo Sci Environ Epidemiol* 1–12 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41370-024-00718-2>

66

“Ang BPA ay kumikilos bilang isang ‘rogue’ na hormone upang palitan ang natural na hormone na karaniwang kasangkot sa landas na ito,” sabi ni Propesor Ian Ray, isang dalubhasa sa mga kemikal sa kapaligiran mula sa Paaralan ng Chemistry ng Unibersidad ng Melbourne (Figure 75)¹⁹⁷.



Larawan 75. Ang Bisphenol A ($C_{15}H_{16}O_2$) ay isang endocrine disruptor dahil sa pagkakatulad nito sa istruktura sa hormone estrogen

Walong milyong tonelada ng bisphenol A ang ginagawa sa buong mundo bawat taon at 100 tonelada ang inilalabas sa biosphere bawat taon¹⁹⁸.

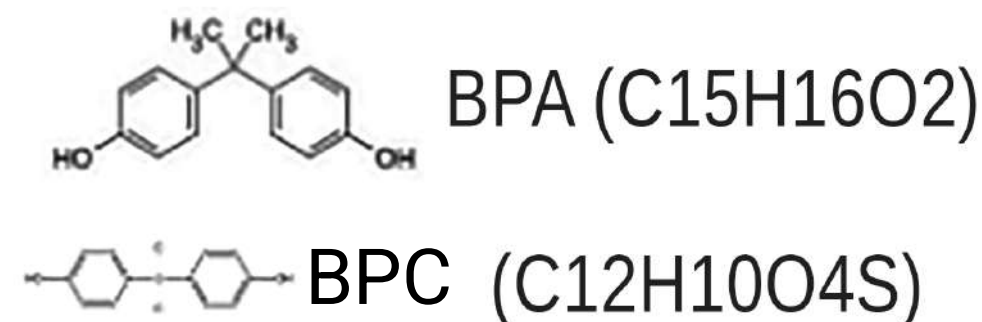
Ipinakita ng mga pag-aaral na ang BPA at ang kapalit nito, bisphenol S (BPS), ay nakakagambala sa koordinasyon ng excitatory at nagbabawal na signal sa sistema ng nerbiyos¹⁹⁹. Ang parehong mga compound ay nagdudulot ng magkatulad na mga pathological effect sa mataas na konsentrasyon (Larawan 76). Ipinakita ng mga eksperimento sa mga brain cell na kahit na ang mababang dosis ng BPA/BPS, kapag na-expose sa loob ng isang buwan, ay nagbabago ng chemical at electrical signaling sa mga synapses²⁰⁰.

¹⁹⁷New Atlas. Autism in boys linked to common plastic exposure in the womb. (2024) <https://newatlas.com/health-wellbeing/prenatal-bisphenol-a-bpa-autism-boys> (Accessed May 1, 2025).

¹⁹⁸Global Industry Analysts. Bisphenol A: Global strategic business report. Research and Markets. (2025) <https://www.researchandmarkets.com/reports/1227819/bisphenol-a-global-strategic-business-report> (accessed 1 May 2025).

¹⁹⁹Glausiusz, J. Toxicology: The plastics puzzle. Nature 508, 306–308 (2014). <https://doi.org/10.1038/508306a>

²⁰⁰News-Medical. Plasticizers can impair important brain functions in humans. (2021) <https://www.news-medical.net/news/20210412/Plasticizers-can-impair-important-brain-functions-in-humans.aspx> (Accessed May 1, 2025).



Larawan 76. Mga istrukturang molekular at chemical formula ng bisphenol A (BPA) at bisphenol S (BPS).

Noong 2023, natuklasan ng isang pag-aaral na ang mga batang may kakulangan sa atensyon hyperactivity disorder ay may mas mataas na antas ng bisphenol A at phthalate kumpara sa mga batang walang kondisyong²⁰¹.

Natuklasan ng mga siyentipiko mula sa Florey Institute of Neuroscience and Mental Health sa Melbourne ang anim na beses na pagtaas ng panganib ng autism sa edad na 11 sa mga lalaki na ang mga ina ay may mataas na antas ng BPA sa huling bahagi ng pagbubuntis²⁰².

66

“Ang BPA ay maaaring makagambala sa kinokontrol ng hormonal pag-unlad ng utak sa mga male fetus sa maraming paraan, kabilang ang pagsugpo sa key enzyme aromatase, na kumokontrol sa neurohormones at partikular na mahalaga para sa pag-unlad ng utak sa mga male fetus,” sabi ni Propesor Ponsonby.

“Mukhang bahagi ito ng autism puzzle”¹⁹⁷.

Ang pagsugpo sa aromatase enzyme ay maaaring ipaliwanag ang disproportyon ng kasarian sa autism: 4–5 lalaki para sa bawat 1 babae²⁰³. Mas maliit ang posibilidad na magkaroon ng autism ang mga babae, ngunit mayroon din silang mas malubhang anyo nito²⁰⁴.

Ang Bisphenol A (BPA) ay nag-aambag din sa pag-unlad ng type 2 diabetes, na nagiging sanhi ng hyperglycemia at insulin resistance²⁰⁵. Ang pandaigdigang dami ng namamatay mula sa diabetes ay patuloy na tumataas (Larawan 77).

²⁰¹EarthDay.org. Babies vs. Plastics Report. (2023) <https://www.earthday.org/babies-vs-plastics-what-every-parent-should-know> (Accessed May 1, 2025)

²⁰²Symeonides, C., Vacy, K., Thomson, S. et al. Male autism spectrum disorder is linked to brain aromatase disruption by prenatal BPA in multimodal investigations and 10HDA ameliorates the related mouse phenotype. Nat Commun 15, 6367 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41467-024-48897-8>

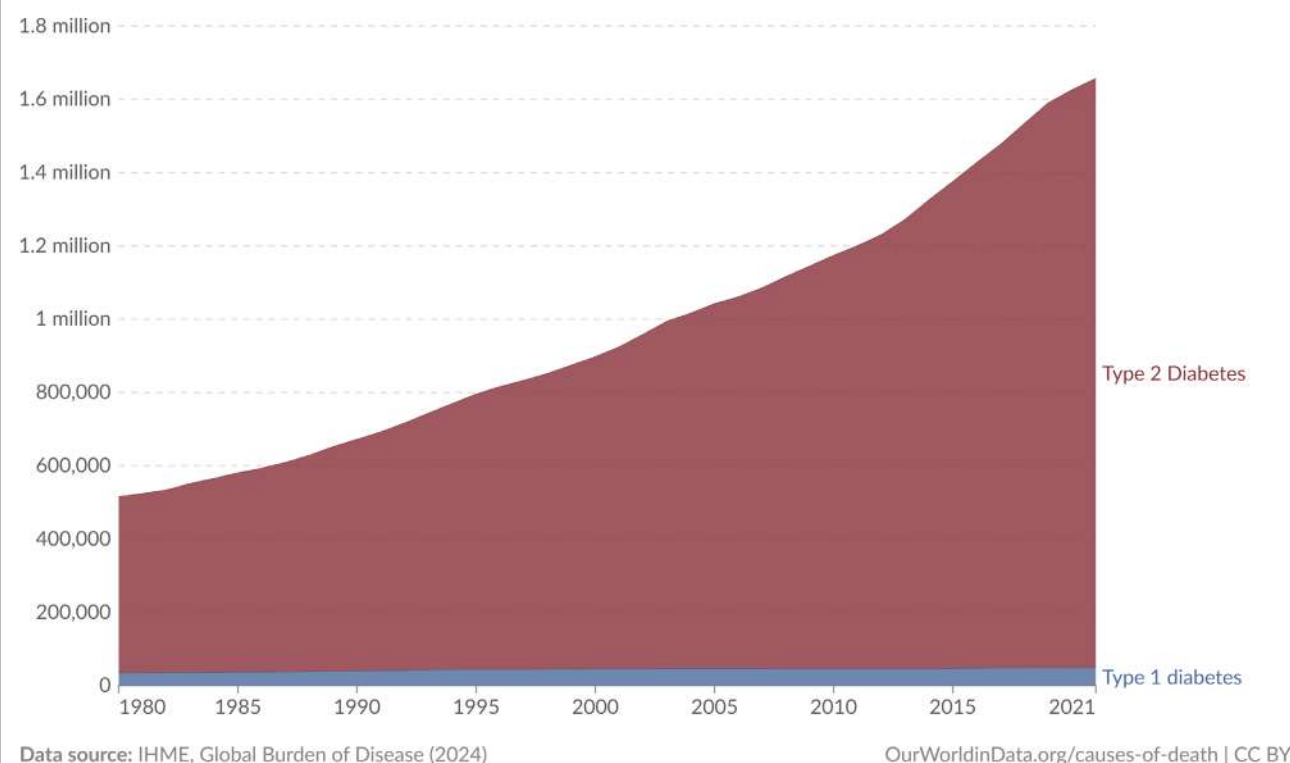
²⁰³Zeidan, J. et al. Global prevalence of autism: A systematic review update. Autism Research 15, 778–790 (2022). <https://doi.org/10.1002/aur.2696>

²⁰⁴Frazier, T. W., Georgiades, S., Bishop, S. L. & Hardan, A. Y. Behavioral and Cognitive Characteristics of Females and Males With Autism in the Simons Simplex Collection. Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry 53, 329–340.e3 (2014). <https://doi.org/10.1016/j.jaac.2013.12.004>

²⁰⁵Sun, Q. et al. Association of Urinary Concentrations of Bisphenol A and Phthalate Metabolites with Risk of Type 2 Diabetes: A Prospective Investigation in the Nurses' Health Study (NHS) and NHSII Cohorts. Environ Health Perspect 122, 616–623 (2014). <https://doi.org/10.1289/ehp.1307201>

Deaths from diabetes, by type, World, 1980 to 2021

Annual deaths from diabetes. Type 1 diabetes is an autoimmune disease, where cells making insulin are destroyed; Type 2 diabetes is insulin resistance. Both types lead to high levels of glucose in blood.



Larawan 77. Mga pagkamatay mula sa diabetes ayon sa uri, mundo. 1980-2021.

Pinagmulan: <https://ourworldindata.org/grapher/deaths-from-diabetes-by-type>

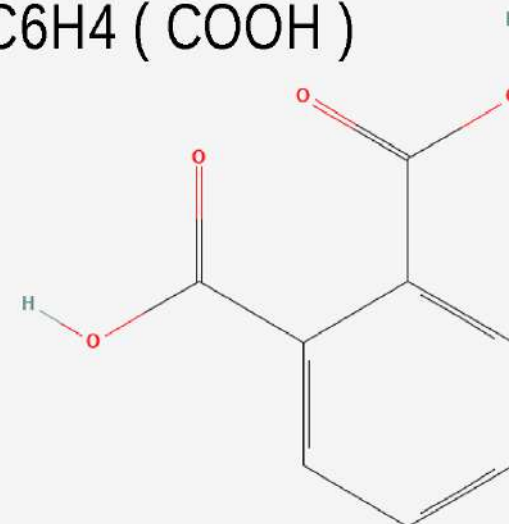
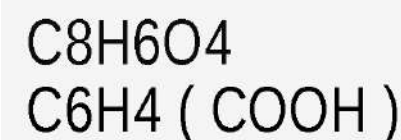
Phthalates

Ang phthalates ay isang pangkat ng mga kemikal na compound na pangunahing ginagamit bilang mga plasticizer, mga sangkap na ginagawang mas nababaluktot, mas malambot, at mas matibay ang mga plastik gaya ng polyvinyl chloride (PVC).

Ang phthalates ay malawakang ginagamit sa industriya at pang-araw-araw na buhay, ngunit ang kanilang kakayahang makagambala sa endocrine system ay nababahala²⁰⁶.

Molecular formula (Larawan 78). Ang mga phthalates ay hindi mga hormone, ngunit maaari nilang pigilan ang pagkilos ng androgens (hal., testosterone), na partikular na kritikal para sa pag-unlad ng lalaki. Kapag nalantad sa kanila, mayroong pagbaba sa motility ng tamud, mga abnormalidad sa pag-unlad ng mga maselang bahagi ng katawan (halimbawa, cryptorchidism sa mga bagong silang). Ang mga lalaking kinikilala bilang infertile ay may mas mataas na konsentrasyon ng phthalates.

²⁰⁶Arrigo, F., Impellitteri, F., Piccione, G. & Faggio, C. Phthalates and their effects on human health: Focus on erythrocytes and the reproductive system. Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology 270, 109645 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2023.109645>



Larawan 78. Pambansang sentro para sa impormasyon ng biotechnology. Bisphenol A, 2D na Istruktura.

Pinagmulan: PubChem. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/1017#section=2D-Structure> (Na-access: 01.05.2025).

Sa mga kababaihan, ang cycle ng panregla ay nagambala, ang panganib ng pagkakuha at napaaga na panganganak ay tumataas. Ang pagkakalantad ng fetus sa panahon ng pagbubuntis ay maaaring magresulta sa pagkaantala ng pag-unlad ng utak, mababang IQ, at mga problema sa pag-uugali²⁰⁷.

Nagpakita ang mga siyentipiko ng sanhi ng kaugnayan sa pagitan ng mga phthalates sa kapaligiran (mga nakakalason na kemikal na matatagpuan sa pang-araw-araw na mga produkto ng consumer) at pagtaas ng paglaki ng uterine fibroids, ang pinakakaraniwang mga tumor sa mga kababaihan²⁰⁸.

Ang pagkakalantad sa mga phthalates na matatagpuan sa mga plastik ay nagpapataas ng panganib ng kanser sa pagkabata ng 20%, na may tatlong beses na pagtaas sa mga kanser sa buto at dalawang beses na pagtaas sa lymphoma²⁰⁹.

Natuklasan ng isang pag-aaral ng higit sa 5,000 Amerikanong mga ina na ang mga phthalates ay nauugnay sa isang panganib ng mababang timbang ng kapanganakan at preterm na kapanganakan²¹⁰. Ang mga salik na ito ay bahagyang nagpapataas ng panganib ng pagkamatay ng sanggol, at maaari ring makaapekto sa pagganap ng akademiko ng mga bata at mapataas ang panganib ng sakit sa puso at diabetes, pati na rin ang mga sakit sa kalusugan ng isip tulad ng autism at ADHD²¹¹ sa mga bata.

²⁰⁷Welch, B. M. et al. Associations Between Prenatal Urinary Biomarkers of Phthalate Exposure and Preterm Birth: A Pooled Study of 16 US Cohorts. JAMA Pediatrics 176, 895–905 (2022). <https://doi.org/10.1001/jamapediatrics.2022.2252>

²⁰⁸Iizuka, T. et al. Mono-(2-ethyl-5-hydroxyhexyl) phthalate promotes uterine leiomyoma cell survival through tryptophan-kynurenine-AHR pathway activation. Proceedings of the National Academy of Sciences 119, e2208886119 (2022). <https://doi.org/10.1073/pnas.2208886119>

²⁰⁹Ahern, T. P. et al. Medication-Associated Phthalate Exposure and Childhood Cancer Incidence. JNCI: Journal of the National Cancer Institute 114, 885–894 (2022). <https://doi.org/10.1093/jnci/djac045>

²¹⁰Trasande, L. et al. Prenatal phthalate exposure and adverse birth outcomes in the USA: a prospective analysis of births and estimates of attributable burden and costs. The Lancet Planetary Health 8, e74–e85 (2024). [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(23\)00270-X](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(23)00270-X)

²¹¹Baker, B. H. et al. Ultra-processed and fast food consumption, exposure to phthalates during pregnancy, and socioeconomic disparities in phthalate exposures. Environment International 183, 108427 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.108427>

Ang mga kemikal na additives sa mga plastik ay nakakatulong sa labis na katabaan²¹². Ayon sa WHO, sa pagitan ng 1990 at 2020, ang mga rate ng labis na katabaan sa mga nasa hustong gulang sa buong mundo ay higit sa doble at sa mga kabataan ay apat na beses na²¹³.

Mga uso sa labis na katabaan sa mga nasa hustong gulang at kabataan sa Estados Unidos (Mga Larawan 79–80).

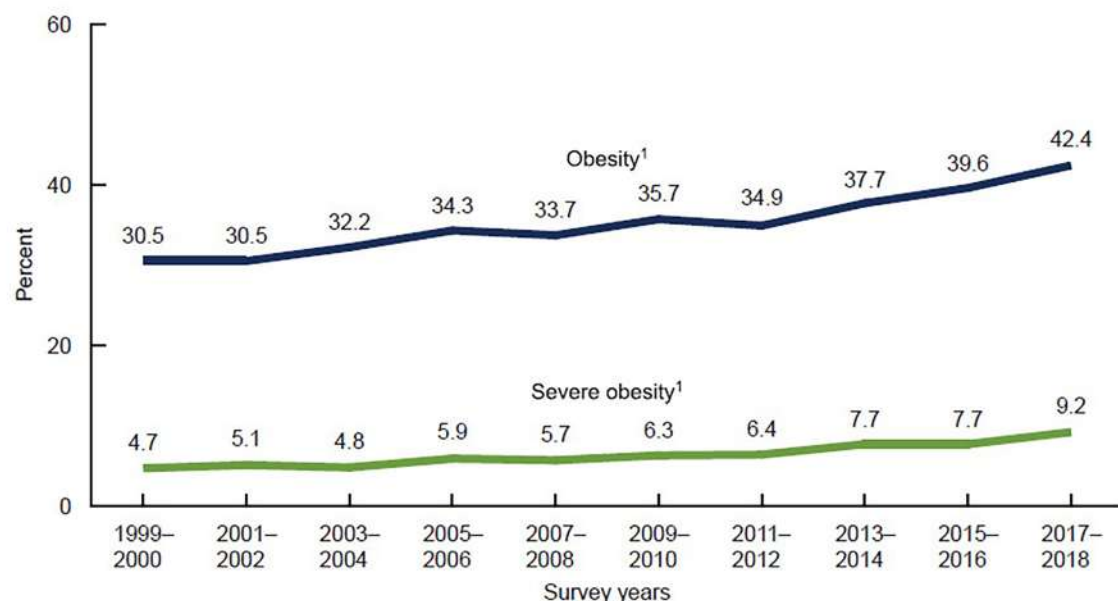
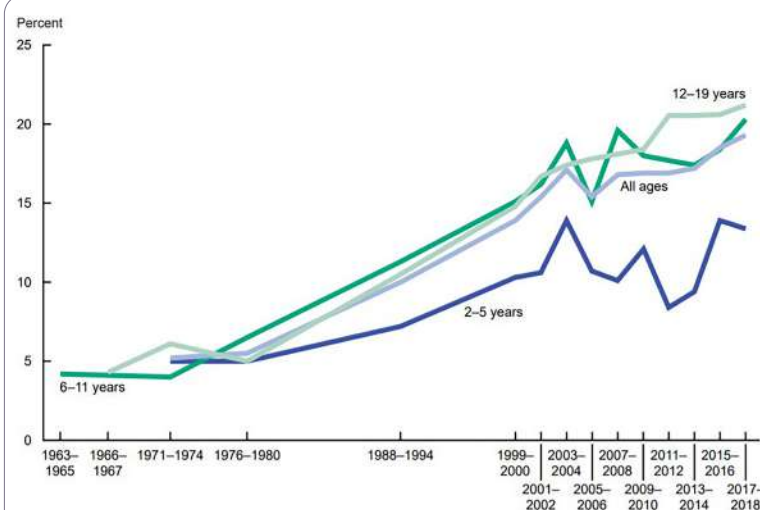


Figure 79. Mga uso ng pagkalat na nababagay sa edad para sa labis na katabaan at matinding labis na katabaan sa mga nasa hustong gulang na 20 taong gulang at mas matanda: United States, 1999–2000–2017–2018.

Pinagmulan: Pambansang instituto ng diabetes sa mga sakit sa pagtunaw at bato. Mga istatistika ng sobra sa timbang at labis na katabaan. NIDDK. (2021) <https://www.niddk.nih.gov/health-information/health-statistics/overweight-obesity> (Na-access: 01.05.2025).



Larawan 80. Mga uso sa labis na katabaan sa mga bata at kabataan na may edad na 2–19 taon, ayon sa edad: United States, 1963–1965–2017–2018.

Pinagmulan: Pambansang instituto ng diabetes sa mga sakit sa pagtunaw at bato. Mga istatistika ng sobra sa timbang at labis na katabaan. NIDDK (2021) <https://www.niddk.nih.gov/health-information/health-statistics/overweight-obesity> (Na-access: 01.05.2025).

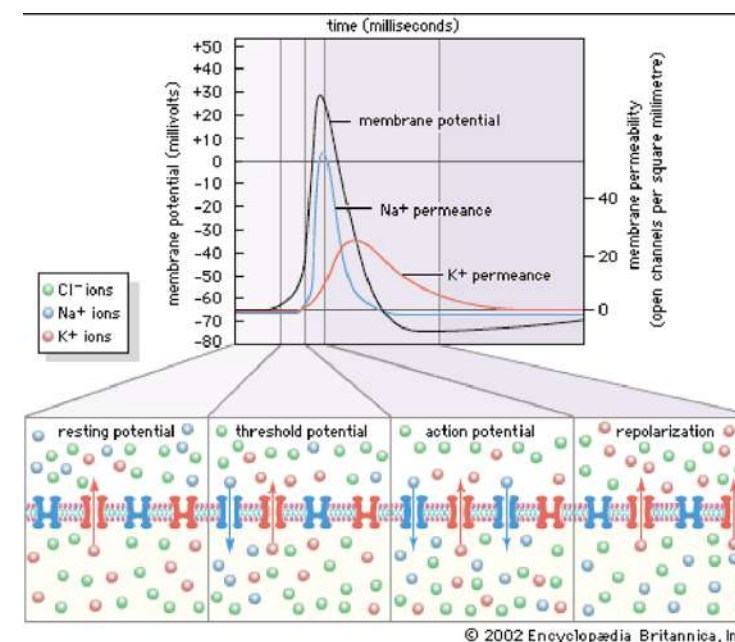
²¹²Völker, J., Ashcroft, F., Vedø, Å., Zimmermann, L. & Wagner, M. Adipogenic Activity of Chemicals Used in Plastic Consumer Products. Environ. Sci. Technol. 56, 2487–2496 (2022). <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c06316>

²¹³World Health Organization. Obesity and overweight. WHO Fact Sheets. (2025) <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight> (Accessed May 10, 2025).

Electrostatic charge ng nanoplastics bilang isang pangunahing kadahilanan sa pagtaas ng toxicity nito sa katawan ng tao

Ang katawan ng tao ay patuloy na gumagawa ng bioelectric energy. Ang lahat ng mga prosesong pisyolohikal - mula sa aktibidad ng puso at pandama na pang-unawa hanggang sa mas mataas na pag-andar ng pag-iisip - ay sanhi ng mga reaksiyong kemikal na pinasimulan ng paggalaw ng mga singil sa kuryente. Ang mga intracellular at extracellular fluid kung saan matatagpuan ang mga protina ay pangunahing binubuo ng tubig, na may mga katangiang electropolar. Kaugnay nito, ang mga pakikipag-ugnayan ng electrostatic, kabilang ang mga hydrogen bond, ionic bond at hydrophobic packing, ay gumaganap ng isang mahalagang papel sa pagbuo ng mga istruktura ng cellular protein na kinakailangan para sa kanilang paggana at, bilang isang resulta, para sa pagpapanatili ng mahahalagang aktibidad ng katawan²¹⁴.

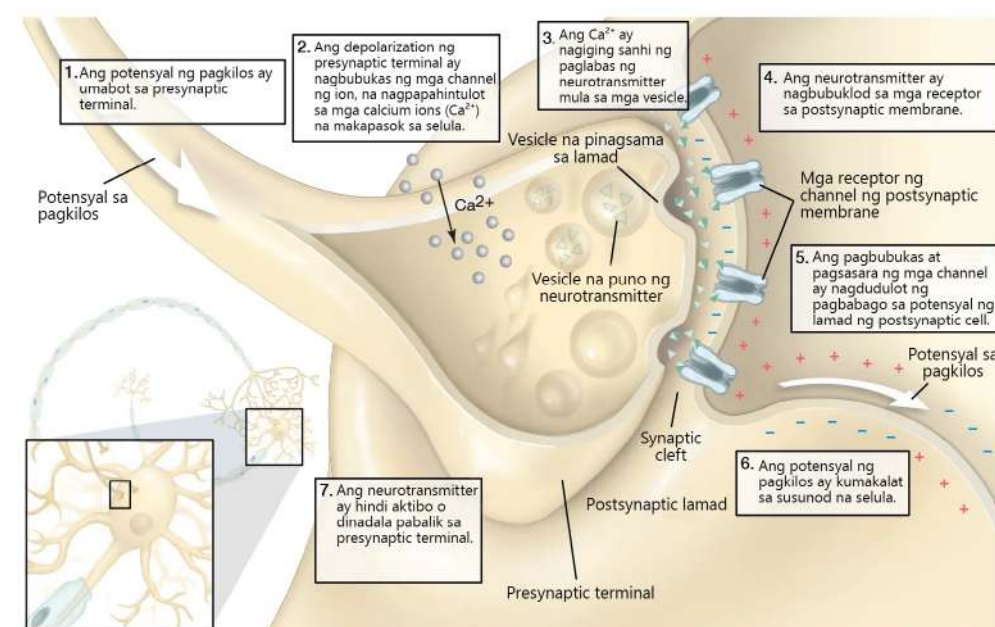
Ang bioelectricity ay gumaganap ng isang direktang papel sa paggana ng mga selula sa pamamagitan ng pakikipag-ugnayan ng mga channel ng ion at mga potensyal na lamad. Ang bawat selula ay nagpapanatili ng isang de-koryenteng potensyal na pagkakaiba sa pagitan ng panloob at panlabas na kapaligiran nito, ang potensyal ng pagpapahinga ng lamad, na sanhi ng pagkakaiba sa mga konsentrasyon ng ion sa loob at labas ng selula (Larawan 81). Ang mga pangunahing uri ng mga channel ng ion na nasa katawan ng tao ay kinabibilangan ng mga channel ng sodium, potassium, calcium, at chloride. Ang mga channel na ito, kasama ang potensyal ng lamad, ay nagbibigay ng mga pangunahing function para sa iba't ibang uri ng mga selula (Mga Larawan 82, 83).



Larawan 81. Ionic permeability sa potensyal ng pagkilos. Mga pagbabago sa ionic permeability na pinagbabatayan ng potensyal na pagkilos.

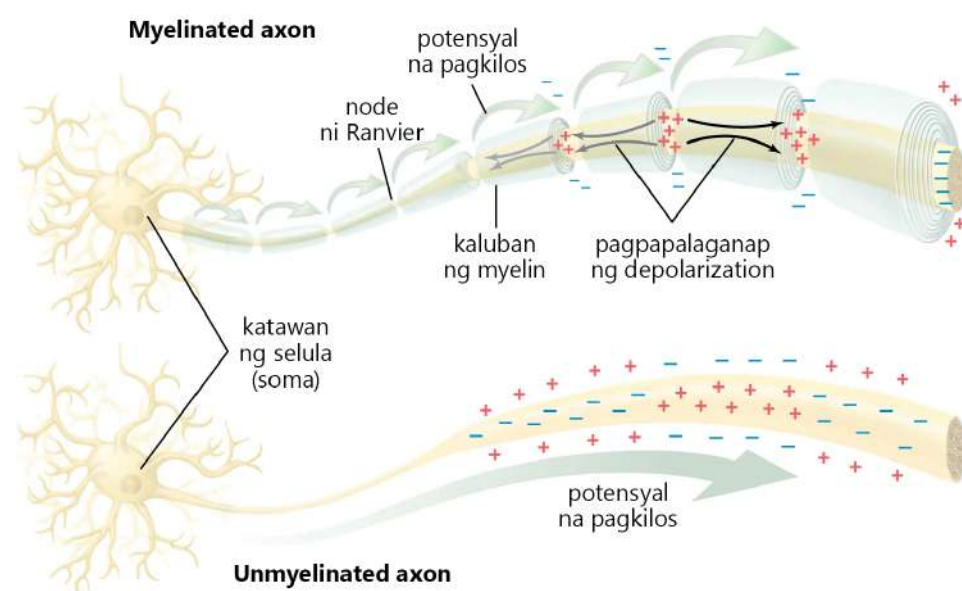
Ang mga potensyal na elektrikal ay pinaliit sa kaliwa sa millivolts, ang ion permeability sa kanan sa mga bukas na channel bawat square millimetre. Sa potensyal na pahinga, ang potensyal ng lamad ay malapit sa E_K , ang potensyal ng balanse ng K⁺. Kapag bumukas ang mga channel ng sodium, ang lamad ay depolarize. Kapag ang depolarization ay umabot sa potensyal ng threshold ito ay magti-trigger ng isang potensyal na pagkilos. Ang henerasyon ng isang potensyal na aksyon ay nagdadala ng potensyal ng lamad na mas malapit sa E_{Na} , ang potensyal ng balanse ng Na⁺. Kapag ang mga channel ng sodium ay nagsara (binabawasan ang pagkamatagusin ng Na⁺) at ang mga channel ng potasa ay bumukas (tinataas ang pagkamatagusin ng K⁺), ang lamad ay nagre-repolarize. Pinagmulan: Encyclopædia Britannica. Neuron. Britannica. (2025). <https://www.britannica.com/science/neuron> (Na-access: 01/05/2025).

²¹⁴Azim Premji University. The Biology of Electricity: How electricity is critical to the functioning of the human body. (2022) <https://azimpremjiuniversity.edu.in/news/2022/the-biology-of-electricity> (Accessed May 1, 2025).



Larawan 82. Synapse Pagpapadala ng kemikal ng isang salpok ng ugat sa isang synapse. Ang pagdating ng isang salpok ng ugat sa presynaptic terminal ay nagpapasigla sa paglabas ng mga neurotransmitters sa synaptic cleft. Ang pagbubuklod ng mga neurotransmitter sa mga receptor sa postsynaptic membrane ay nagpapasigla sa pagbabagong-buhay ng isang potensyal na aksyon sa postsynaptic neuron.

Pinagmulan: Encyclopædia Britannica. Neuron. Britannica. (2025). <https://www.britannica.com/science/neuron> (Na-access: 01.05.2025).



Larawan 83. Neuron: pagpapadaloy ng isang potensyal na aksyon.

Sa isang myelinated axon, pinipigilan ng myelin sheath ang lokal na kasalukuyang (maliit na itim na arrow) na dumaloy sa lamad. Nagiging sanhi ito ng daloy ng agos pababa sa nerve fiber patungo sa mga unmyelinated node ng Ranvier, na may mataas na konsentrasyon ng mga channel ng ion. Kapag pinasigla, ang mga ion channel na ito ay nagpapalaganap ng potensyal na pagkilos (malalaking berdeng arrow) sa susunod na node. Kaya, ang potensyal na aksyon ay tumalon kasama ang hibla habang ito ay muling nabuo sa bawat node, isang proseso na tinatawag na saltatory conduction. Sa isang unmyelinated axon, ang potensyal na pagkilos ay kumakalat sa buong lamad, nabubulok habang ito ay kumakalat pabalik sa lamad patungo sa orihinal na depolarized na rehiyon.

Pinagmulan: Encyclopædia Britannica. Neuron. Britannica. (2025). <https://www.britannica.com/science/neuron> (Na-access noong 01/05/2025).

Ang bioelectricity na nangyayari sa katawan ng tao (halimbawa, kapag ang mga kalamnan ay gumagana o ang mga nerve impulses ay ipinadala) ay hindi nakakapinsala sa isang tao, dahil ito ay isang natural na bahagi ng mga proseso ng physiological. Ngunit ang micro- at nanoplastics, kapag pumasok sila sa katawan, ay nagdadala sa kanila ng isang electrostatic charge, na maaari nilang mapanatili sa mahabang panahon. At ang singil na ito ay maaaring makapinsala sa kalusugan, na nakakasagabal sa lahat ng biyolohikal na proseso.

Ang mga nanoplastics ay mga plastic na particle na mas mababa sa 1 micrometer ang laki, na, dahil sa kanilang kakaibang istraktura, ay may kakayahang mag-ipon ng mga electrostatic charge, na ginagawa itong bagay ng malapit na atensyon ng mga siyentipiko.

Kapag ang mga micro- at nanoplastic na particle ay nakuryente bilang resulta ng *triboelectric na epekto* (sa pakikipag-ugnay at alitan sa iba pang mga ibabaw), nakakakuha sila ng electrostatic charge - positibo o negatibo. Ang singil na ito ay nakakaapekto sa kung paano kumikilos ang mga particle sa katawan at kapaligiran.

Ang natatanging istraktura ng mga nanoplastic na particle ay nagpapahintulot sa kanila na mag-adsorb ng mga pollutant, ion, at mga organikong molekula, na nagpapahusay sa kanilang papel bilang mga tagapagdala ng lason sa mga ekosistema^{215, 216}.

Ang kemikal na komposisyon ng nanoplastics ay gumaganap ng isang mahalagang papel sa paghubog ng kanilang mga electrostatic na katangian: ang mga polymer gaya ng polystyrene (PS), polyethylene (PE) o polypropylene (PP) ay kadalasang naglalaman ng mga gumagana na grupo — carboxyl ($-\text{COOH}$), sulfate ($-\text{SO}_3\text{H}$) o mga amino group ($-\text{NH}_2$) — na maaaring mag-ionize depende sa mga kondisyon sa kapaligiran. Halimbawa, ipinakita ng isang pag-aaral na inilathala sa *Langmuir* na ang polystyrene nanoparticle na may mga carboxyl group (PS-COOH) ay may negatibong potensyal na zeta, habang ang mga may amino group (PS-NH_2) ay may positibo, na nagpapatunay sa impluwensya ng mga functional na grupo sa singil ng nanoplastics²¹⁷.

Ang proseso ng akumulasyon ng singil ay hindi limitado sa mga katangian ng kemikal lamang. Sa panahon ng pagmamamupaktura o mekanikal na stress tulad ng Alitan, maaaring makakuha ng singil ang nanoplastics sa pamamagitan ng makipag-ugnay sa elektripikasyon. Nalaman ng isang pag-aaral sa mga plastic na lalagyan na ang polystyrene ay maaaring makaipon ng singil na hanggang -10 kV, na pinananatili ng mahabang panahon at umaakit sa magkasalungat na singil na mga particle tulad ng alikabok o mga Spores ng baktery²¹⁸. Higit pa rito, ang mga pagkakaiba-iba sa istraktura ng polimer tulad ng pagkakaroon ng mga polar group, ay nagpapahintulot sa nanoplastics na magpakita ng parehong positibo at negatibong mga singil depende sa pH ng mga singil depende sa pH. Sa acidic na kapaligiran, ang mga pangkat ng amino maaaring magbigay ng positibong singil sa mga particle, samantalang sa alkaline na kapaligiran, ang mga negatibong singil ay nangingibabaw dahil sa mga carboxyl group, tulad ng kinumpirma ng mga pag-aaral sa mga halaman ng *Arabidopsis thaliana*²¹⁹.

²¹⁵Rai, P. K., Sonne, C., Brown, R. J. C., Younis, S. A. & Kim, K.-H. Adsorption of environmental contaminants on micro- and nano-scale plastic polymers and the influence of weathering processes on their adsorptive attributes. *Journal of Hazardous Materials* 427, 127903 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127903>

²¹⁶Zhang, W. et al. The mechanism for adsorption of Cr(VI) ions by PE microplastics in ternary system of natural water environment. *Environmental Pollution* 257, 113440 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113440>

²¹⁷Perini, D. A. et al. Surface-Functionalized Polystyrene Nanoparticles Alter the Transmembrane Potential via Ion-Selective Pores Maintaining Global Bilayer Integrity. *Langmuir* 38, 14837–14849 (2022). <https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.2c02487>

²¹⁸Baribo, L. E., Avens, J. S. & O'Neill, R. D. Effect of Electrostatic Charge on the Contamination of Plastic Food Containers by Airborne Bacterial Spores. *Applied Microbiology* 14, 905–913 (1966). <https://doi.org/10.1128/am.14.6.905-913.1966>

²¹⁹Sun, XD., Yuan, XZ., Jia, Y. et al. Differentially charged nanoplastics demonstrate distinct accumulation in *Arabidopsis thaliana*. *Nat. Nanotechnol.* 15, 755–760 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41565-020-0707-4>

Kaya, ang pag-unawa sa istraktura ng nanoplastics at ang kanilang mga electrostatic na katangian ay hindi lamang nagpapakita ng kanilang pisikal na kalikasan, ngunit naglalagay din ng pundasyon para sa pagsusuri kung paano makakaapekto ang mga particle na ito sa mga ecosystem at organismo, na tatalakayin pa sa konteksto ng kanilang mga pathogenic na mekanismo.

Dahil sa mataas na pagpapahintulot (kakayahang humawak ng electric charge), ang nanoplastics, kapag pumapasok sa katawan, ay patuloy na nag-iipon ng mga bagong nakakapinsalang singil, na karaniwang neutralisado o nawawala sa pamamagitan ng mga natural na conductive system ng katawan.

Nakakaabala ito sa mga proseso ng regulasyon sa sarili ng katawan, na lumilikha ng panganib para sa mga istraktura ng cellular dahil sa pangmatagalang pagkakalantad sa abnormal na electrostatic na enerhiya.

Upang masuri ang laki ng banta ng nanoplastics na pumapasok sa katawan, maaari nating muling bumaling sa mga bioelectric system ng katawan - mga kumplikadong mekanismo kung saan ang mga mga impulses ng kuryente ay nagsisilbing wika ng intercellular na komunikasyon.

Ang bawat paggalaw at pag-iisip ay posible salamat sa hindi nakikitang mga signal na nagpapadala ng mga utos sa mga selula. Ang mga neuron ay nagpapalitan ng impormasyon sa pamamagitan ng mga impulses ng kuryente, ang mga kalamnan ay nagkontrata bilang tugon sa mga signal na ito, at ang utak ay nagpoproseso ng data sa pamamagitan ng kumbinasyon ng mga bioelectric at kemikal na proseso. Kahit na ang paghinga, reflexes, paningin at pandinig ay nakasalalay sa maliliit na discharge ng kuryente na kumokontrol sa paggana ng mga organo.

Ang mga di-nakikitang agos na ito, na pinahusay sa milyun-milyong taon ng ebolusyon, ay nagbabago ng mga bioelectric na impulses sa wika ng buhay. Ngunit ang kanilang pagkakaisa ay ginulo ng mga dayuhan na elemento - mga microscopic na particle ng nanoplastics.

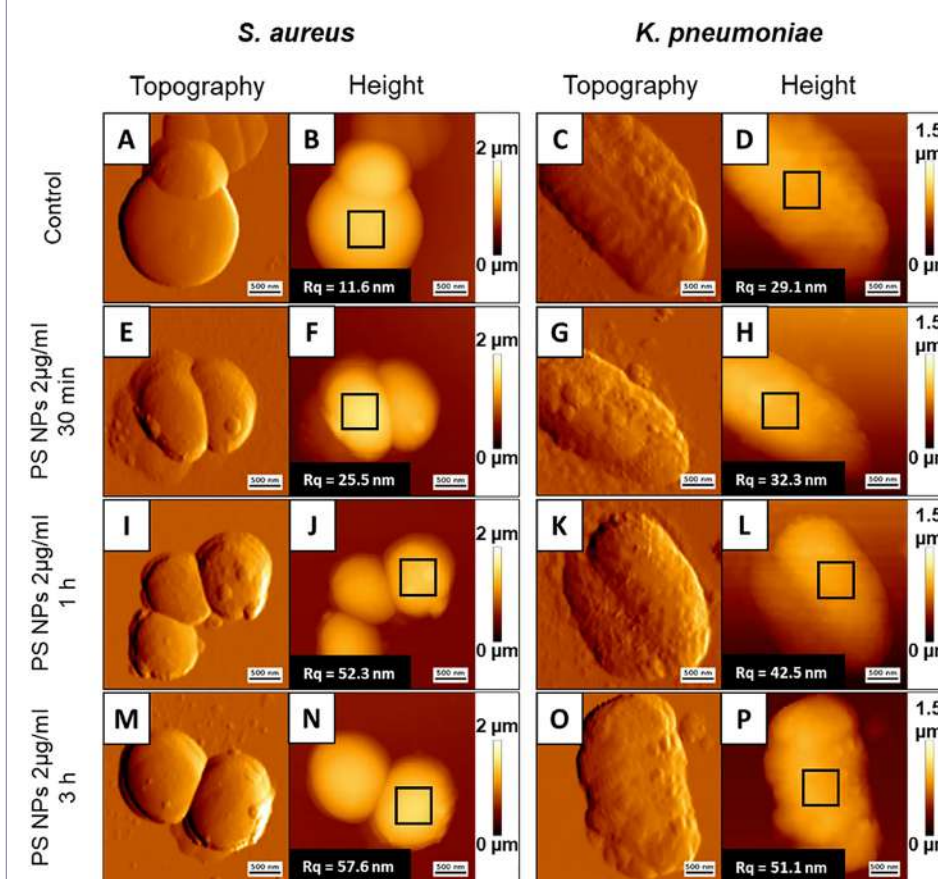
Ang mga nanoplastics, kapag pumasok sila sa katawan, ay may kakayahang mag-adsorbing ng mga ion at bumubuo ng mga zone na may abnormal na kondaktibiti ng kuryente, na nakakagambala sa natural na balanse ng ionic at ang mga proseso ng pag-neutralize ng mga lokal na singil, na kinokontrol ng intercellular fluid. Ang adsorption ng mga ion sa ibabaw ng nanoplastics ay humahantong sa akumulasyon ng isang electrostatic charge sa mga particle na ito. Ang hindi pangkaraniwang bagay na ito ay maaaring makapukaw ng oxidative stress dahil sa pagbuo ng reactive oxygen species (ROS), at nakakagambala rin sa komunikasyong electrochemical sa pagitan ng mga Selula, na negatibong nakakaapekto sa kanilang mga function.

Sinusuportahan ito ng isang pag-aaral²²⁰ kung saan ang 100 nm polystyrene particle, kahit na sa pagkakaroon ng mga sodium ions (Na^+), ay nanatiling matatag at na-adsorbed sa ibabaw ng bakterya sa kabila ng kanilang negatibong singil. Halimbawa, ipinakita ng mga eksperimento sa *Staphylococcus aureus* at *Klebsiella pneumoniae* na makabuluhang binabago ng nanoplastic ang potensyal ng zeta ng mga cell, na ginagawang mas negatibo ang ibabaw nito, na nakakagambala sa natural na balanse ng electrostatic.

²²⁰Zajac, M. et al. Exposure to polystyrene nanoparticles leads to changes in the zeta potential of bacterial cells. Sci Rep 13, 9552 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-36603-5>

Ang mga naka-charge na nanoplastic na particle ay maaaring makaapekto sa mga electrical field sa paligid ng mga Selula, na nakakasira ng paghahatid ng signal. Ito ay katulad ng panghihimasok sa radyo: sa halip na malinaw na mga utos, mayroong magulong ingay na pumipigil sa mga Selula sa pagpapalitan ng impormasyon. Bagama't hindi sinuri ng pag-aaral ang mga direktang epekto sa mga selula ng nerbiyos at ang mga konklusyon tungkol sa mga epekto sa mga tao ay paunang at nangangailangan ng karagdagang pananaliksik, ang pagbabago sa singil sa ibabaw ng bakterya ay nagpapahiwatig na ang nanoplastic ay maaaring magbago ng mga electrochemical na katangian ng mga lamad. Halimbawa, sa mga konsentrasyon na higit sa 64 micrograms kada milimetro, ang mga polystyrene particle ay nagdulot ng makabuluhang pagbabago sa potensyal ng zeta, na maaaring makagambala sa mga channel ng ion o mga receptor na kritikal para sa intercellular na komunikasyon.

Ang kakayahan ng nanoparticle na “dumikit” sa mga ibabaw, tulad ng ipinapakita ng mikroskopya ng lakas ng atom na mga imahe sa nabanggit na pag-aaral (Larawan 84), ay lumilikha ng panganib ng pangmatagalang epekto. Ang mga particle na idineposito sa mga tisyu ay maaaring bumuo ng mga matatag na electrostatic anomalya na ang mga sodium at potassium ions ay hindi maaaring ganap na neutralisahan, lalo na kung ang nanoplastic ay tumagos sa mga selula, na lumalampas sa mga mekanismo ng proteksyon ng intercellular fluid.



Larawan 84. Topograpiya ng ibabaw (A, C, E, G, I, K, M, O) at mga larawan ng taas (B, D, F, H, J, L, N, P) ng *S. aureus* strain ATCC 6538 at *K. pneumoniae* strain ATCC 4352 na nakalantad sa 1000µL na dosis ng polystyrene. 0.5 h (E–H), 1 h (I–L) at 3 h (M–P) kumpara sa mga hindi ginagamot na kontrol (A–D). Scale bar: 500 nm. Ang mga lugar (itim na parisukat) mula sa kung saan ang ugat ay nangangahulugan ng parisukat na pagkamagaspang sa ibabaw at mga halaga ng pagkamagaspang (Rq parameter) ng mga sinusukat na ibabaw ng bakterya (ugat ibig sabihin parisukat ng profile heights sa haba ng pagsusuri) ay minarkahan sa loob ng mga panel.

Pinagmulan: ZJajac, M. et al. Ang pagkakalantad sa polystyrene nanoparticle ay humahantong sa mga pagbabago sa potensyal ng zeta ng mga Bakterya na selula. Sci Rep 13, 9552 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-36603-5>

Gayundin, ang panganib ng pathogenic charge na naipon sa nanoplastics ay maaari itong lumikha ng pagkagambala ng kuryente sa paligid ng immune cells, na kinumpirma ng pag-aaral ²²¹, na nagpakita na ang positibong sisingilin nanoplastics (PS-NH₂) ay makabuluhang binabawasan ang kakayahang mabuhay ng immune cells at ang katatagan ng lysosomal membranes kumpara sa mga negatibong sisingilin (PS-COOH), na nagpapahiwatig ng kanilang pakikipag-ugnayan sa singil.

Ang mga electrostatically charged na particle ng BNP ay may mas mataas na kakayahang mag-adsorb sa mga lamad ng selula, tisyu at iba pang biological na ibabaw, literal na dumidikit sa kanila - pinatataas nito ang panganib ng mekanikal at kemikal na pinsala sa mga selula, na nakakagambala sa kanilang istraktura at pag-andar.

Maaaring mapadali ng electrostatic charge ang pagtagos ng mga particle ng BNP sa pamamagitan ng mga kumplikadong biological na hadlang tulad ng mga hadlang sa dugo-utak o hematomplacental. Bilang resulta, ang mga toxin ay maaaring maabot ang utak o fetus, na nagpapataas ng panganib ng neurotoxic effect at intrauterine developmental disorder.

Ang electrostatic effect ng nanoplastics ay maaaring makagambala sa istraktura at paggana ng mga protina, mga channel ng ion, mga cellular receptor, na, sa turn, ay magdudulot ng mga pagkagambala sa pagpapadala ng mga signal sa pagitan ng mga cell, mag-trigger ng oxidative stress at magpahina sa mga panlaban sa immune ng katawan.

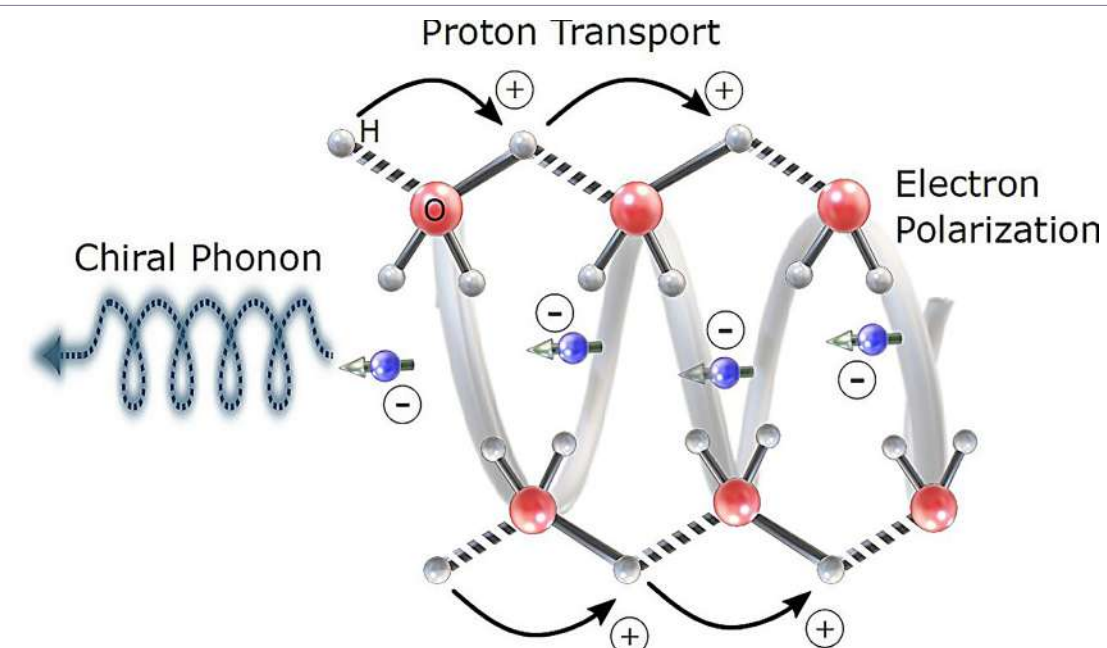
Ang mga pagbabagong ito ay maaaring magpasimula ng isang kaskad ng mga proseso ng pathological, kabilang ang talamak na pamamaga, neurodegenerative disorder, ang pagbuo ng mga malignant na tumor at systemic dysfunction ng katawan, na makabuluhang pinatataas ang panganib ng malubhang sakit.

Kaya, ang akumulasyon ng electrostatic charge sa nanoplastics ay hindi lamang isang pisikal na kababalaghan, ngunit isang mekanismo na nagpapataas ng panganib ng mga MNP. Lalo na kung isasaalang-alang ang katotohanan na ang electrostatic charge sa mga MNP ay maaaring mapanatili sa napakatagal na panahon, at ang mga particle ng micro- at nanoplastics mismo ay halos hindi pinalabas mula sa katawan.

Ang pag-aaral sa hindi pangkaraniwang bagay na ito ay kasalukuyang pinakamahalaga, dahil ito ay humahantong sa isang pag-unawa sa kung paano ang mga pathogenic na singil sa kuryente na naipon sa nanoplastics ay maaaring maging isang macroscopic na banta sa buhay ng mga species ng tao tulad nito.

Hanggang kamakailan, pinaniniwalaan na ang batayan ng cellular energetics - paglipat ng proton - ay natutukoy ng eksklusibo ng kimika: ang mga proton ay tila “tumalon” mula sa isang molekula ng tubig patungo sa isa pa. Gayunpaman, ang isang bagong pag-aaral na inilathala sa Mga pamamaraan ng pambansang akademya ng mga agham ay radikal na nagbabago sa ideyang ito. Ito ay lumabas na ang transportasyon ng mga proton sa mga buhay na organismo ay nakasalalay hindi lamang sa mga katangian ng kemikal, kundi pati na rin sa mga quantum - lalo na, sa pag-ikot ng mga electron at ang pagkakaibigan, ng mga biological molecule (Larawan 85).

²²¹Murano, C., Bergami, E., Liberatori, G., Palumbo, A. & Corsi, I. Interplay Between Nanoplastics and the Immune System of the Mediterranean Sea Urchin *Paracentrotus lividus*. *Front. Mar. Sci.* 8, 647394 (2021). <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.647394>



Larawan 85. Schematic na modelo ng laruan. Ang transportasyon ng proton ay sinamahan ng electronic polarization sa chiral media. Dahil sa epekto ng CISS, ang electric polarization na ito ay gumagawa ng spin polarization. Ang pag-iingat ng angular momentum ay bumubuo ng mga chiral phonon, na nagpapahusay sa paglipat ng proton.

Pinagmulan: Goren, N. et al. Pagsasama sa pagitan ng spin ng mga electron at paglipat ng proton sa chiral biological crystals. *PNAS* 122, e2500584122 (2025). <https://doi.org/10.1073/pnas.2500584122>

Ang isang pag-aaral na isinagawa ng mga siyentipiko ng Israel mula sa Hebrew University ay nagpakita na sa mga protina tulad ng lysozyme, ang paglipat ng proton ay makabuluhang pinabilis sa pamamagitan ng pagpapakilala ng mga electron na may “tamang” pag-ikot - at, sa kabaligtaran, hinarang ng kabaligtaran. Ito ay dahil sa ang katunayan na sa mga buhay na sistema, ang mga proton at mga electron ay kumikilos bilang isang mahusay na magtugma na mekanismo ng quantum. Kahit na ang kaunting pagbabago sa kanilang iikot na oryentasyon ay maaaring makaapekto sa mga pangunahing proseso tulad ng paggawa ng enerhiya, metabolismo, at regulasyon sa loob ng selula.

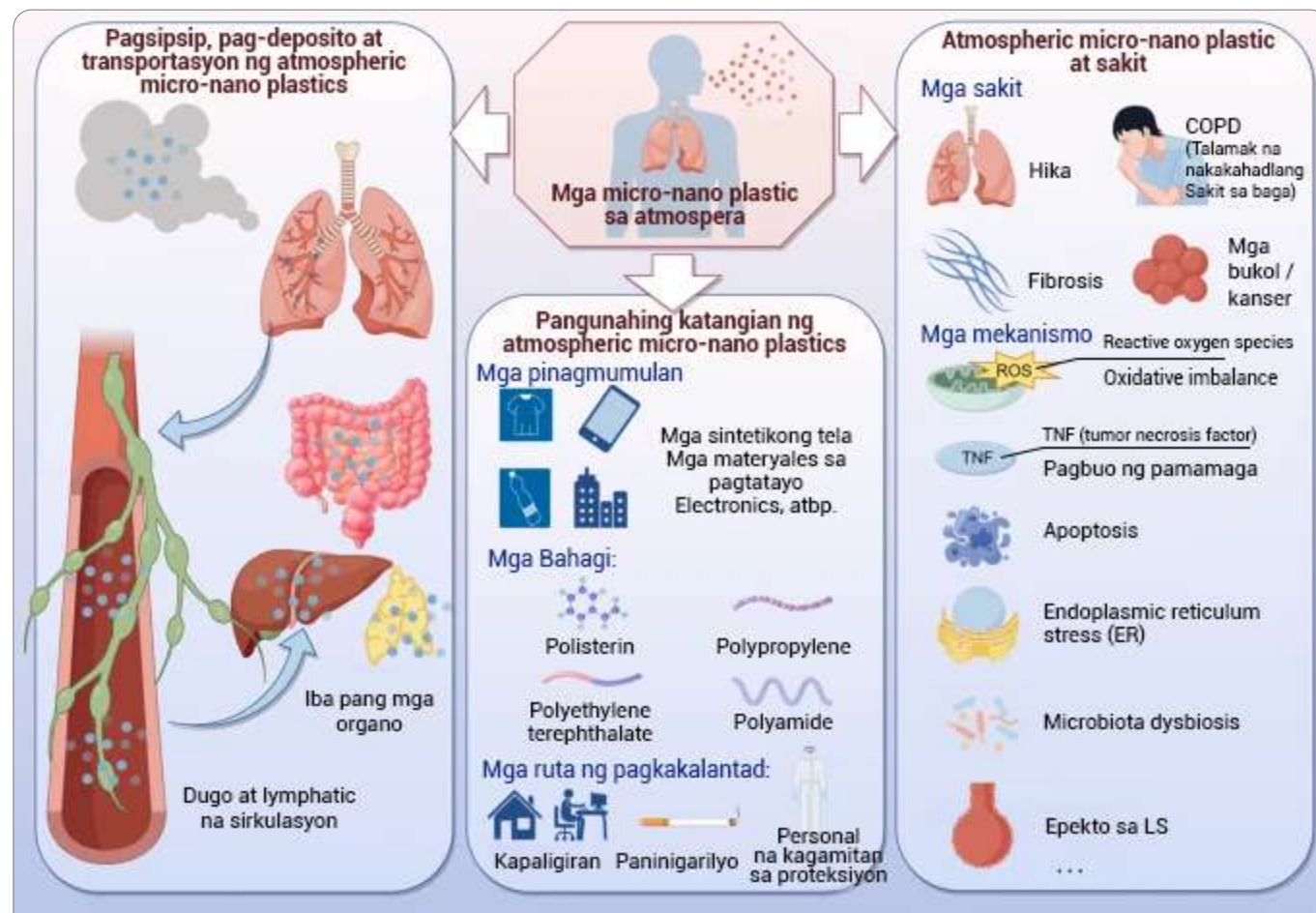


Tulad ng sinabi ng pinuno ng pag-aaral, si Naam Goren, **“Ang aming mga resulta ay nagpapakita na ang paraan ng paggalaw ng mga proton sa mga biyolohikal na sistema ay hindi lamang isang bagay ng kimika, kundi pati na rin ng quantum physics.”** Nangangahulugan ito na kahit na ang pinakamaliit na pagkagambala sa electric charge o magnetic orientation ay maaaring makaapekto sa metabolismo ng selula, produksyon ng enerhiya, at pangkalahatang kalusugan²²².

²²²[Phys.org](https://phys.org/news/2025-05-quantum-effects-proteins-tiny-particles.html). Quantum effects in proteins: How tiny particles coordinate energy transfer inside cells. (2025). <https://phys.org/news/2025-05-quantum-effects-proteins-tiny-particles.html> (Accessed May 10, 2025).

Mga sistematikong epekto ng mga MNP sa mga organo ng tao at mga functional system

Matapos makapasok sa katawan ng tao, ang mga MNP ay tumagos sa lahat ng mga organo at tisyu na may daluyan ng dugo (Larawan 86). Ang mga plastik na particle ay natagpuan sa dugo ng tao, tisyu ng puso at buto, utak, inunan, бага, atay, at iba pang mga organo²²³.



Larawan 86. BNP uptake sa katawan ng tao na may paghinga at nakakalason na epekto.

Pinagmulan: Gou, Z., Wu, H., Li, S., Liu, Z. & Zhang, Y. Airborne micro- at nanoplastics: umuusbong na mga sanhi ng mga sakit sa paghinga. *Particle at Fiber Toxicology* 21, 50 (2024). <https://doi.org/10.1186/s12989-024-00613-6>

²²³Khan, A. & Jia, Z. Recent insights into uptake, toxicity, and molecular targets of microplastics and nanoplastics relevant to human health impacts. *iScience* 26, 106061 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.isci.2023.106061>

Mga mekanismo ng pinsala sa sistema ng paghinga kapag nalalanghap ang mga MNP

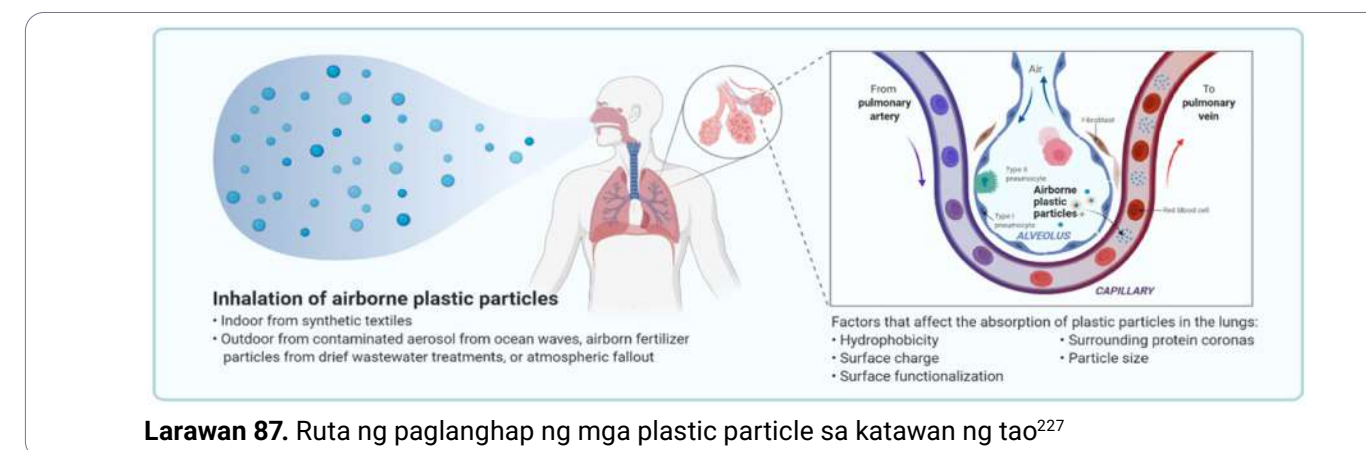
Isa sa mga pangunahing paraan kung saan pumapasok ang mga MNP sa katawan ng tao ay sa pamamagitan ng paghinga.

Ang mga resulta ng isang pag-aaral ng mga siyentipikong tsino²²⁴ ay nagpakita na sa loob ng dalawang oras ng aktibong aktibidad sa labas, ang mga nasa hustong gulang ay humihinga ng humigit-kumulang 106,000 microplastic particle, at ang mga bata ay humigit-kumulang 73,700.

Ang mga particle na mas maliit sa 0.1 μm , dahil sa kanilang mga thermodynamic na katangian, ay maaaring epektibong tumira sa buong respiratory tract (mula sa upper respiratory tract hanggang sa alveoli)²²⁵.

Ang mga бага ay may malaking alveolar surface area (mga 150 m^2) at isang manipis na tissue barrier (mas mababa sa 1 μm), na nagpapahintulot sa NP na madaling tumagos sa bloodstream (Larawan 87).

Ang microplastics (MP) ay nakita sa 13 sa 20 sample ng tissue ng бага ng tao²²⁶.



Larawan 87. Ruta ng paglanghap ng mga plastic particle sa katawan ng tao²²⁷

Ayon sa isang pag-aaral ng 22 mga pasyente na may mga sakit sa бага, ang microplastics ay nakita sa lahat ng mga sample ng plema²²⁸: mula 18.75 hanggang 91.75 na mga particle / 10 ml²²⁹. Ang isang link ay naitatag din sa pagitan ng allergic rhinitis at microplastics²³⁰.

Ang mga BNP ay malapit na nauugnay sa paglitaw at pag-unlad ng iba't ibang mga sakit sa paghinga, kabilang ang hika, pulmonary fibrosis, talamak na nakahahadlang sakit sa бага at tumor²²⁹. Ipinakita ng pag-aaral na 97% ng mga malignant na sample ng tumor sa бага ay naglalaman ng mga microplastic fibers²³¹.

²²⁴Peking University Center for Environmental Science and Engineering. Prof. Yi Huang's team made new progress in atmospheric microplastic distribution and its human health risk. CESE. (2022) <https://cese.pku.edu.cn/kycg/156506.htm> (Accessed May 1, 2025).

²²⁵Gou, Z., Wu, H., Li, S., Liu, Z. & Zhang, Y. Airborne micro- and nanoplastics: emerging causes of respiratory diseases. *Particle and Fibre Toxicology* 21, 50 (2024). <https://doi.org/10.1186/s12989-024-00613-6>

²²⁶Amato-Lorenço, L. F. et al. Presence of airborne microplastics in human lung tissue. *Journal of Hazardous Materials* 416, 126124 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126124>

²²⁷Yee, M. S.-L. et al. Impact of Microplastics and Nanoplastics on Human Health. *Nanomaterials* 11, 496 (2021). <https://doi.org/10.3390/nano11020496>

²²⁸Huang, S. et al. Detection and Analysis of Microplastics in Human Sputum. *Environ. Sci. Technol.* 56, 2476–2486 (2022). <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c03859>

²²⁹Xu, M. et al. Internalization and toxicity: A preliminary study of effects of nanoplastic particles on human lung epithelial cell. *Science of The Total Environment* 694, 133794 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133794>

²³⁰Tuna, A., Taş, B.M., Başaran Kankılıç, G. et al. Detection of microplastics in patients with allergic rhinitis. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 280, 5363–5367 (2023). <https://doi.org/10.1007/s00405-023-08105-7>

²³¹Dris, R. et al. A first overview of textile fibers, including microplastics, in indoor and outdoor environments. *Environmental Pollution* 221, 453–458 (2017). <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.12.013>

Ang mga posibleng mekanismo ay kinabibilangan ng oxidative stress, pamamaga at kawalan ng balanse ng microbiota sa baga. Ang mga MNP ay maaaring magdulot ng pulmonya²³².

Ayon sa ulat ng WHO, ang mga impeksyon sa lower respiratory tract ay kasalukuyang nananatiling pinakanakamatay na nakakahawang sakit sa mundo at nasa ikalima sa lahat ng mga sanhi ng kamatayan²³³. At ang bilang ng mga namamatay mula sa cancer ng trachea, bronchus at baga ay tumaas at nasa ikaanim sa mga nangungunang sanhi ng kamatayan.

Neurotoxic effect ng BNP.

Pinsala ng central at peripheral nervous system

Kinumpirma ng pananaliksik na ang mga neurological disorder ang pangunahing sanhi ng pisikal at cognitive na kapansanan sa buong mundo, na kasalukuyang nakakaapekto sa humigit-kumulang 3.4 bilyong tao. Ang ganap na bilang ng mga pasyente ay tumaas nang malaki sa nakalipas na 30 taon²³⁴. Bilang karagdagan, ang pasanin ng mga talamak na sakit na neurodegenerative ay inaasahan na hindi bababa sa doble sa susunod na dalawang dekada. Ayon sa WHO, isa sa walong tao sa buong mundo ang dumaranas ng mental disorder²³⁵.

Ang insidente ng bipolar disorder sa mga kabataan at young adult sa buong mundo ay tumaas mula 79.21 bawat 100,000 populasyon noong 1990 hanggang 84.97 bawat 100,000 populasyon noong 2019²³⁶. Sa nakalipas na tatlong dekada, nagkaroon ng pagtaas sa insidente sa kapwa lalaki at babae (Larawan 88). Ipinapakita ng pananaliksik ang pagtaas ng mga sakit sa pag-iisip sa mga bata at kabataan sa mga nakaraang taon. Ayon sa 2022 Ulat sa pambansang kalidad ng kalusugan at mga pagkakaiba mula 2016 hanggang 2019, ang rate ng mga pagbisita sa Kagawaran ng emergency para sa mga kadahilanang nauugnay sa kalusugan ng isip sa mga batang edad 0-17 ay tumaas mula 784.1 hanggang 869.3 bawat 100,000. Bukod pa rito, mula 2008 hanggang 2020, ang rate ng pagkamatay ng pagpapakamatay sa mga 12 at mas matanda ay tumaas ng 16%, mula 14.0 hanggang 16.3 bawat 100,000²³⁷.

Ayon sa isang ulat mula sa tagaseguro ng kalusugan na asul na Krus asul na kalasag ang mga diagnosis ng klinikal na depresyon na kilala rin bilang Malaking depresyon, ay tumaas ng 33% mula noong 2013. Nagsisimula nang hulaan ang ilang mga mapagkukunan na sa 2030, ang depresyon ang magiging pangunahing sanhi ng mahabang buhay o pagkawala ng buhay. Ang mga kababaihan at kalalakihan na may depresyon ay maaaring mawalan ng average na 9.6 na taon ng malusog na buhay²³⁸.

²³²Bengalli, R. et al. Characterization of microparticles derived from waste plastics and their bio-interaction with human lung A549 cells. *Journal of Applied Toxicology* 42, 2030–2044 (2022). <https://doi.org/10.1002/jat.4372>

²³³World Health Organization. The top 10 causes of death. WHO Fact Sheets. (2024) <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death> (Accessed May 1, 2025).

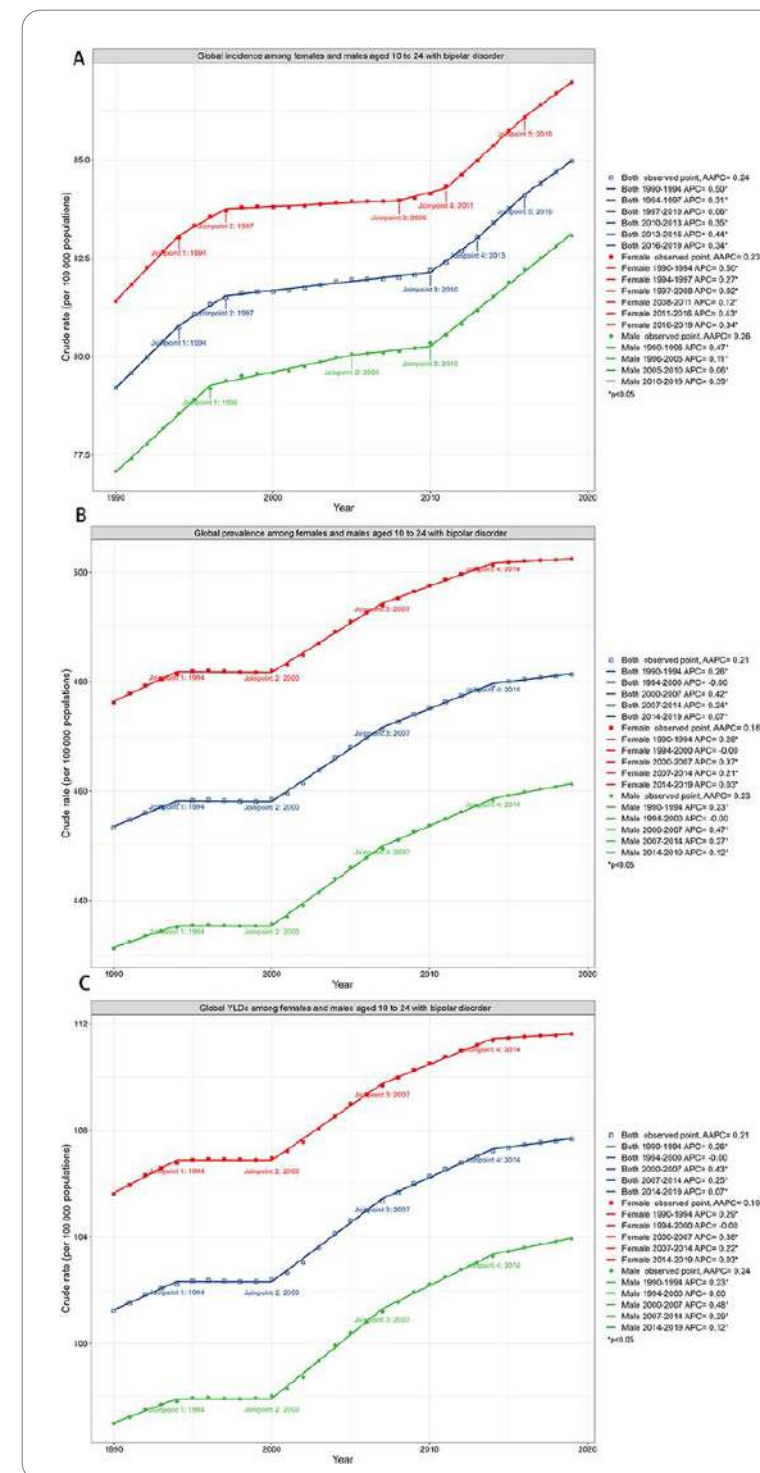
²³⁴Van Schependom, J. & D'haeseleer, M. Advances in Neurodegenerative Diseases. *Journal of Clinical Medicine* 12, 1709 (2023). <https://doi.org/10.3390/jcm12051709>

²³⁵World Health Organization. Mental disorders. WHO Fact Sheets. (2022) <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/mental-disorders> (Accessed May 1, 2025).

²³⁶Zhong, Y. et al. Global, regional and national burdens of bipolar disorders in adolescents and young adults: a trend analysis from 1990 to 2019. *Gen Psych* 37, e101255 (2024). <https://doi.org/10.1136/gpsych-2023-101255>

²³⁷U.S. Department Of Health And Human Services. 2022 National Healthcare Quality and Disparities Report. Rockville, MD: Agency for Healthcare Research and Quality. (2022) <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK587174> (Accessed May 1, 2025).

²³⁸Lépine, J.-P. & Briley, M. The increasing burden of depression. *NDT* 7, 3–7 (2011). <https://doi.org/10.2147/NDT.S19617>



Larawan 88. Pagsusuri ng pagbabalik ng jointpoint, ng pandaigdigang saklaw ng bipolar disorder, pagkalat at mga taong nabuhay nang may kapansanan (YLDs) sa lahat ng mga kabataan at young adult na may edad na 10–24 taon mula 1990 hanggang 2019. * $p < 0.05$; AAPC, average na taunang pagbabago sa porsyento; APC, taunang pagbabago sa porsyento; Mga YLD, taon na nabuhay nang may kapansanan.

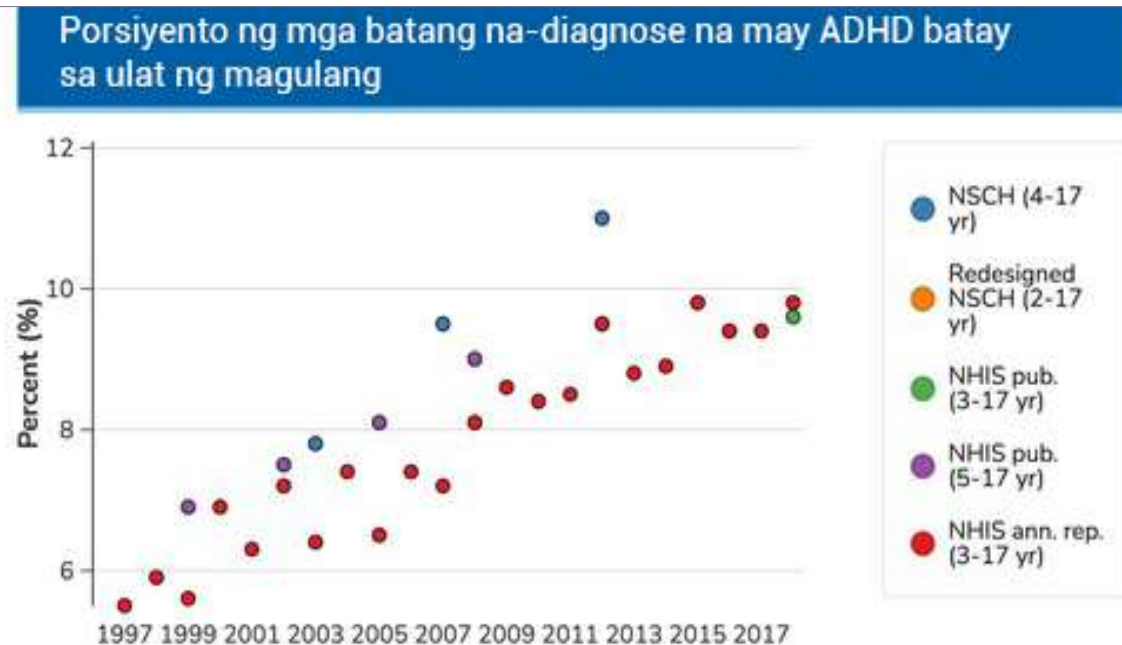
Pinagmulan: Zhong, Y. et al. Global, rehiyonal at pambansang pasanin ng mga bipolar disorder sa mga kabataan at young adult: isang pagsusuri ng kalakaran mula 1990 hanggang 2019. *Gen Psych* 37, e101255 (2024). <https://doi.org/10.1136/gpsych-2023-101255>

Ang bilang ng mga diagnosis ng Kakulangan sa Atensyon hyperactivity disorder (ADHD) ay patuloy na tumataas sa nakalipas na mga dekada. Ang mga pambansang survey ng populasyon ng U.S. ay nagpapakita ng pagtaas ng Pagkalat mula 6.1% hanggang 10.2% sa loob ng 20 taon mula 1997 hanggang 2016²³⁹ (Larawan 89).

Ang survey noong 2023, na sumaklaw sa 31 bansa, ay natagpuan na ang mga kasanayan sa Karunungan bumasa't sumulat at Pagbilang ay bumababa ng²⁴⁰ (Larawan 90).

²³⁹Xu, G., Strathearn, L., Liu, B., Yang, B. & Bao, W. Twenty-Year Trends in Diagnosed Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder Among US Children and Adolescents, 1997–2016. *JAMA Network Open* 1, e181471 (2018). <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2018.1471>

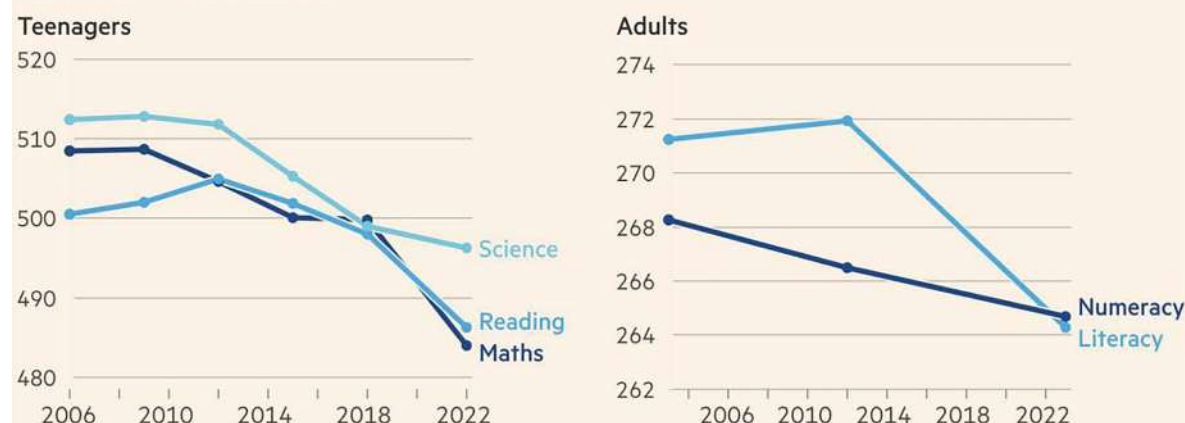
²⁴⁰Organisation for Economic Co-operation and Development. Do adults have the skills they need to thrive in a changing world? OECD Publications. (2024) https://www.oecd.org/en/publications/do-adults-have-the-skills-they-need-to-thrive-in-a-changing-world_b263dc5d-en.html (Accessed May 1, 2025).



Larawan 89. ADHD tsart ng paglago ng Pagkalat mula 1997 hanggang 2016. Pinagmulan: Xu, G., Strathearn, L., Liu, B., Yang, B. & Bao, W. Dalawampung Taong Trend sa na-diagnose na Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder sa mga Bata at Kabataan sa US 1997-2016. JAMA Network Open 1, e181471 (2018). <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2018.1471>

Performance in reasoning and problem-solving tests is declining

Average scores on assessments across different domains in high-income countries (teen and adult scores use different scales)



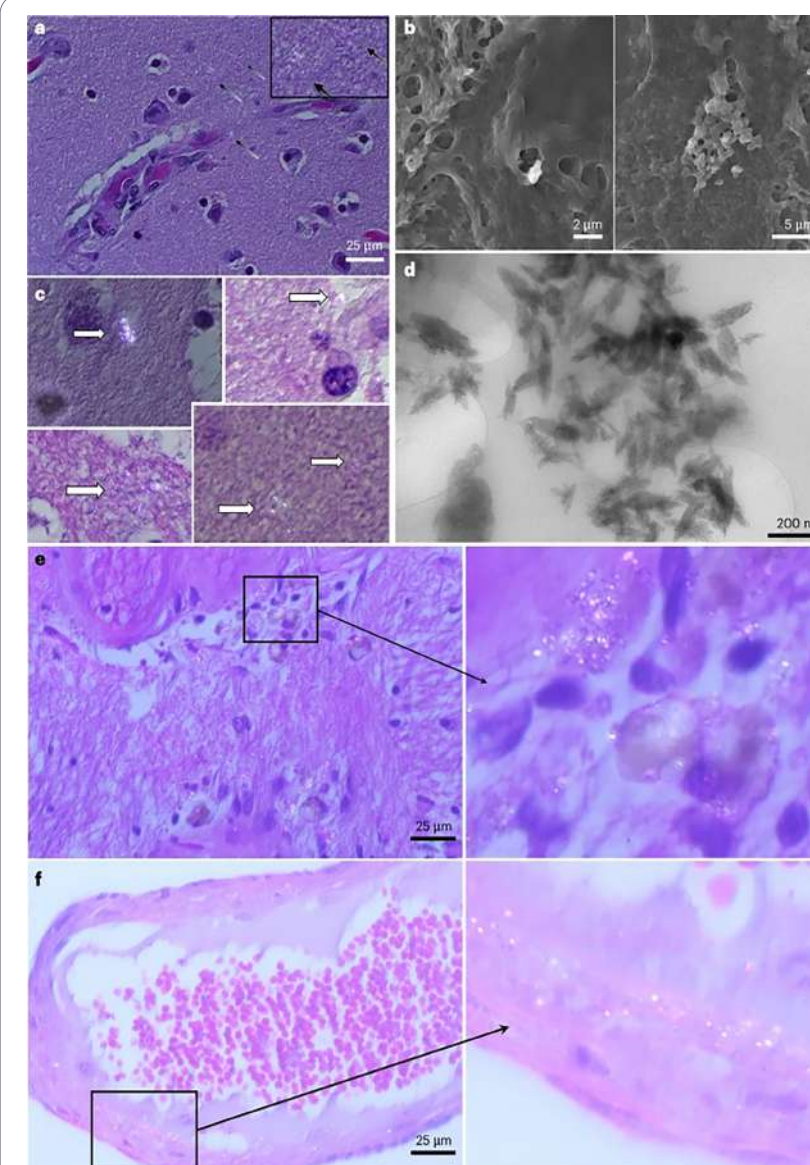
Source: OECD PISA, PIAAC and Adult Literacy and Lifeskills Survey
FT graphic: John Burn-Murdoch / @jburnmurdoch
©FT

Larawan 90. Ang pagganap sa logic at mga pagsubok sa paglutas ng problema ay bumababa. Pinagmulan: OECD PISA, PIAAC and Adult Literacy and Lifeskills Survey
FT graphic: John-Murdoch / @jburnmurdoch

Ang mga uso ng paglago ng mga sakit na neurodegenerative at neuropsychiatric ay malinaw na nauugnay sa Uso ng paglago ng mga plastik sa kapaligiran (Mga Larawan 96-97).

Ang pinakamataas na konsentrasyon ng mga NP ay natagpuan sa tisyu ng utak ng tao - 7-30 beses na mas mataas kaysa sa mga konsentrasyon sa atay o bato, at ang mga sample ng tisyu ng utak mula sa mga taong na-diagnose na may demensya ay nagpakita ng mas mataas na presensya ng mga MNP - hanggang sa 10 beses na higit pa - kaysa sa tisyu ng utak mula sa mga taong walang demensya²⁴¹ (Larawan 91).

Ang nangingibabaw na mga particle sa utak ay naging maliliit na fragment o mga natuklap ng polyethylene - isa sa mga pinakasikat na plastik na ginagamit sa packaging.



Larawan 91. Polarized wave microscopy (a, ang mga itim na arrow ay tumuturo sa matigas ang ulo pagsasama; inset ay isang digital magnification para sa kalinawan) at SEM (b, ang mga field ng view ay 15.4 at 20.1 µm ang lapad) ay ginamit upang i-scan ang mga seksyon ng utak mula sa mga namatay na sample ng tao. c, Walang malalaking (> 1 µm) na mga pagsasama ang naobserbahan; ang mga karagdagang halimbawa ng polarized wave microscopy ay naka-highlight (ang mga puting arrow ay tumuturo sa submicron refractory inclusions). Ang mga limitasyon sa paglutas ng mga teknolohiyang ito ay humantong sa paggamit ng TEM upang suriin ang mga katas ng butil na ginagamit para sa Py-GC/MS. d, Halimbawa nalutas ng mga imahe ng TEM ang hindi mabilang na particulate matter sa anyo ng mga tipak o mga natuklap pagkatapos ng pagpapakalat, na may mga sukat na halos <200 nm ang haba at <40 nm ang lapad. e, f, Ang polarized wave microscopy ay nagpapakita ng mas mataas na bilang ng matigas ang ulo pagsasama sa mga kaso ng demensya, lalo na sa mga lugar na may nauugnay na akumulasyon ng immune cell (e) at sa kahabaan ng mga pader ng sisidlan (f). Ang lahat ng mga imahe ay nakuha sa isang maliit na subset ng mga kalahok (n = 10 para sa normal na utak; n = 3 para sa mga kaso ng demensya) upang magbigay ng visual na ebidensya upang suportahan ang analytical chemistry.

Pinagmulan: Nihart, A. J., Garcia, M. A., El Hayek, E. et al. Bioaccumulation ng microplastics sa decedent utak ng tao. Nat Med 31, 1114–1119 (2025). <https://doi.org/10.1038/s41591-024-03453-1>

²⁴¹Nihart, A.J., Garcia, M.A., El Hayek, E. et al. Bioaccumulation of microplastics in decedent human brains. Nat Med 31, 1114–1119 (2025). <https://doi.org/10.1038/s41591-024-03453-1>

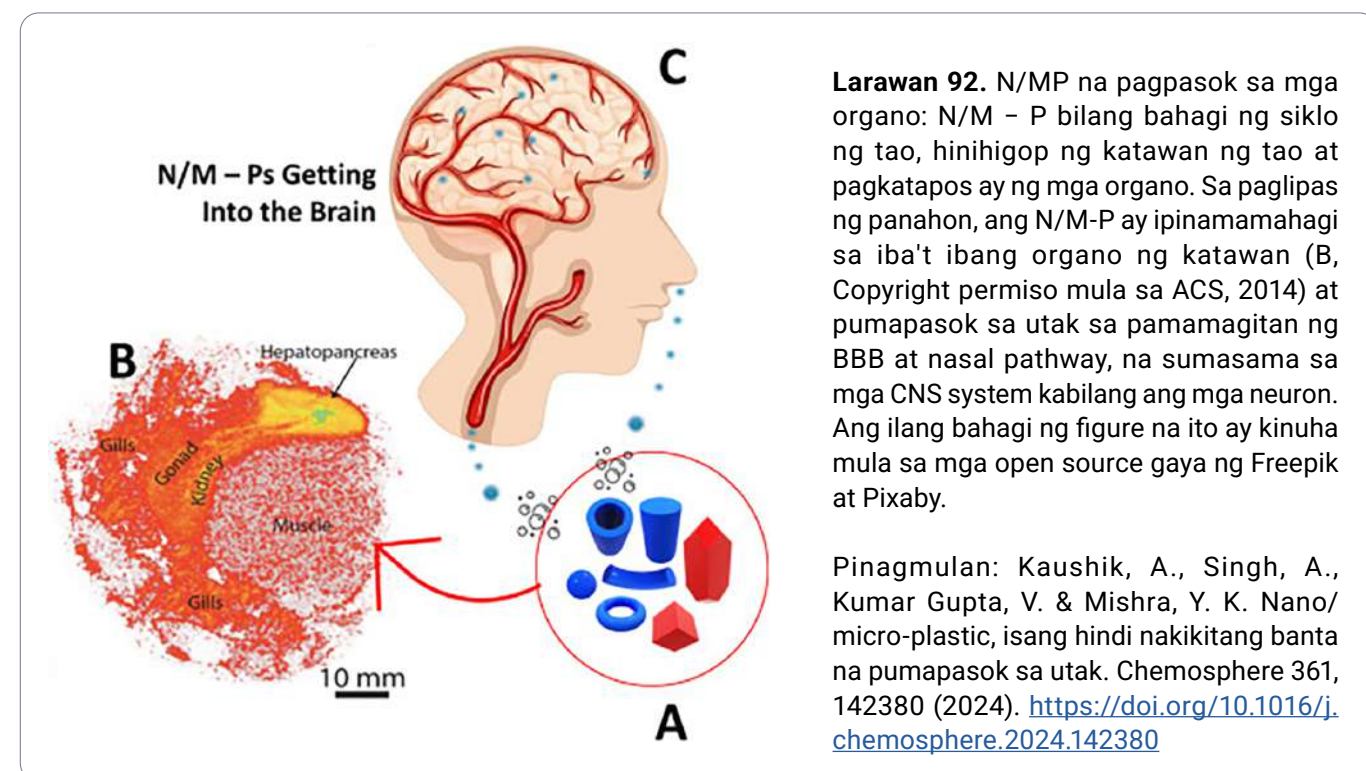
Kinukumpirma ng bagong data na sa pagitan ng 2016 at 2024, iyon ay, sa loob ng 8 taon, ang nilalamang plastik sa utak ay tumaas ng 50%²⁴¹.

66

“Sa mga malulusog na tao na may edad 45 hanggang 50, nakakita kami ng karaniwan na 4,900 micrograms ng mga plastic na particle bawat gramo ng tisyu ng utak. (...) Isang buong plastic na kutsara. Iyan ay tungkol sa kung gaano karaming microplastic ang nasa utak natin. Ibig sabihin, ang utak natin ngayon ay 99.5% na utak, at ang iba ay plastic,” sabi ng nangungunang mananaliksik na si Matthew Campen mula sa University of New Mexico²⁴².

Dahil sa pag-unlad ng mga plastik na particle sa hangin, tubig at pagkain, ligtas na sabihin na ang dami ng nanoplastic sa ating mga katawan ay tataas lamang. Kung magpapatuloy ang uso na ito, pagkatapos ay sa 4 na taon ang antas ng plastic sa utak ay tataas ng isa pang 50%.

Ang BNP ay pumapasok sa utak sa pamamagitan ng dugo, na nagtagumpay sa hadlang sa dugo-utak at sa pamamagitan ng paglanghap sa pamamagitan ng olpactoryo nerbiyos (Larawan 92).



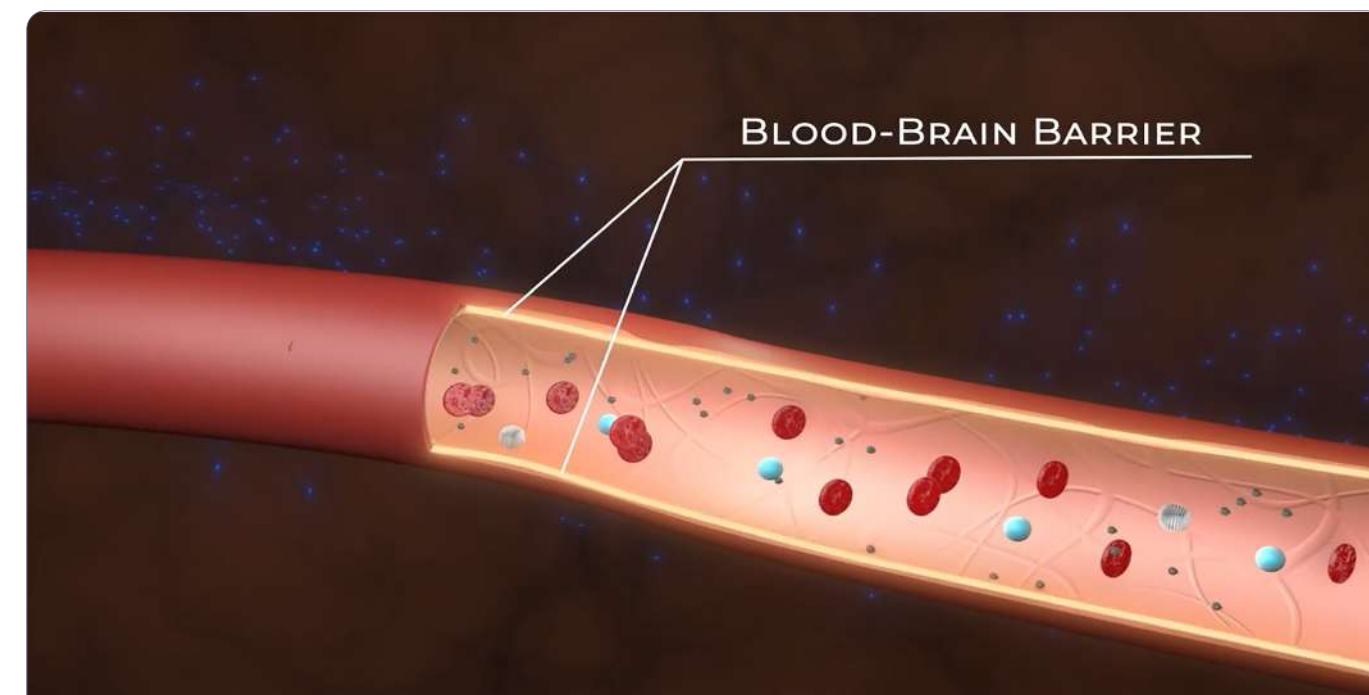
²⁴¹Nihart, A.J., Garcia, M.A., El Hayek, E. et al. Bioaccumulation of microplastics in decedent human brains. Nat Med 31, 1114–1119 (2025).

<https://doi.org/10.1038/s41591-024-03453-1>

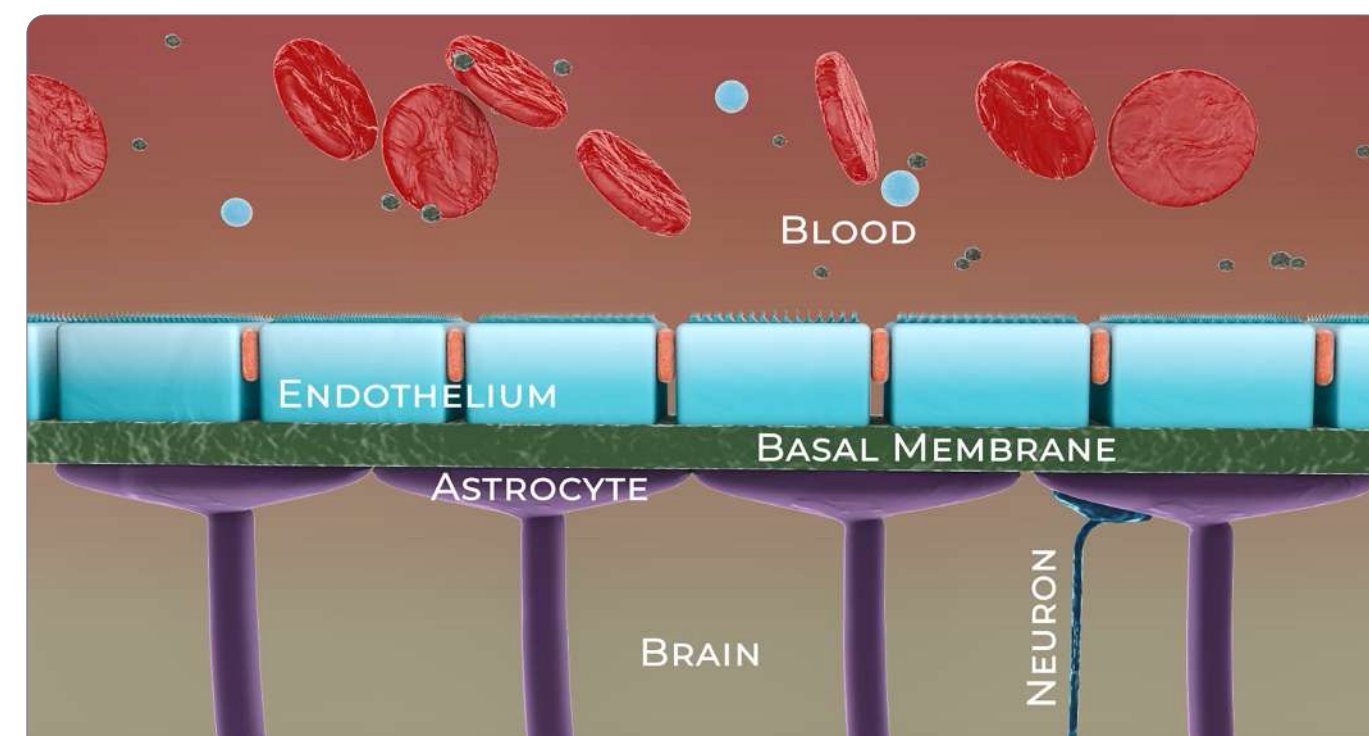
²⁴²VRT NWS. Brain contains “full plastic spoonful” of microplastics. (2025)

<https://www.vrt.be/vrtnws/nl/2025/02/04/microplastics-in-de-hersenen> (Accessed May 1, 2025).

Ang hadlang sa dugo-utak ay isang dalubhasang sistemang pisyolohikal na kinokontrol ang paglipat ng mga sangkap mula sa daluyan ng dugo patungo sa gitnang sistema ng nerbiyos (Larawan 93). Pinipili nito ang mga sustansya at oxygen na dumaan habang hinaharangan ang pagtagos ng mga lason at pathogens (Larawan 94). Ang mekanismong ito ay nagbibigay ng kritikal na proteksyon para sa utak sa pamamagitan ng pagpapanatili ng homeostasis ng neural na kapaligiran.



Larawan 93. Schematic na representasyon ng isang daluyan ng dugo ng utak



Larawan 94. Schematic na representasyon ng hadlang sa dugo-utak

Ang mga plastik na nanopartikel, dahil sa kanilang laki ng submicron at mga katangian ng physicochemical, ay tumagos sa utak 2 oras lamang pagkatapos makapasok sa katawan²⁴³.

Kapag nilalanghap, ang mga plastik na nanoparticle ay direktang naglalakbay sa pamamagitan ng mga olpaktoryo na nerbiyos patungo sa lugar ng utak na responsable para sa pang-unawa ng mga amoy²⁴⁴ (Larawan 95). Bilang isang resulta, sila ay kumuha ng isang mas maikli at mas direktang ruta sa utak kaysa sa iba pang mga organo.



Larawan 95. Pagpasok ng NP sa pamamagitan ng olpaktoryo nerbiyos sa utak

Ang pagkakaroon ng pagtagos sa utak, ang nanoplastic ay nakakagambala sa gawain ng mga selula ng utak - mga neuron. Napag-alaman na ang ibabaw ng nanoparticle at ang kanilang electric charge ay maaaring makaapekto nang malaki sa pakikipag-ugnayan sa mga neuron at ang paghahatid ng mga Mga impulses ng nerbiyos.

Ang electrostatic charge ng nanoplastic ay nagbibigay-daan sa iyo upang malayang makagambala sa gawain ng bawat Selula ng katawan ng tao, matalim ito, na nagiging sanhi ng oxidative stress at talamak na pamamaga, nakakagambala sa gawain ng mitochondria, hanggang sa kanilang kumpletong pagkawasak at pagkamatay ng selula mismo.

Ang pag-aaral²⁴⁵ ay nagpakita na ang mga nanoparticle na may negatibong sisingilin ay may kakayahang magdulot ng depolarization ng lamad ng mga neuron, na humahantong sa pagbabago sa kanilang aktibidad sa kuryente.

²⁴³Kopatz, V. et al. Micro- and Nanoplastics Breach the Blood–Brain Barrier (BBB): Biomolecular Corona’s Role Revealed. *Nanomaterials* 13, 1404 (2023). <https://doi.org/10.3390/nano13081404>

²⁴⁴Amato-Lourenço, L. F. et al. Microplastics in the Olfactory Bulb of the Human Brain. *JAMA Netw Open* 7, e2440018 (2024). <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2024.40018>

²⁴⁵Dante, S. et al. Selective Targeting of Neurons with Inorganic Nanoparticles: Revealing the Crucial Role of Nanoparticle Surface Charge. *ACS Nano* 11, 6630–6640 (2017). <https://doi.org/10.1021/acs.nano.7b00397>

Ang eksperimento ay nagsiwalat na ang mga negatibong sisingilin na nanoplastic na mga particle ay piling nakagapos sa mga neuron na aktibong kasangkot sa paghahatid ng mga Mga impulses ng nerbiyos. Sila ay sumunod sa mga neuronal na katawan, axon, dendrite, at synaptic cleft, habang ang mga glial cell, na kulang sa aktibidad ng kuryente, ay hindi nakikipag-ugnayan sa kanila.

Iyon ay, ang elektrikal na aktibidad ng mga neuron ay ang pangunahing trigger para sa pagbubuklod ng negatibong sisingilin na nanoplastic sa lamad ng selula.

Ayon sa mga pag-aaral, ang micro- at nanoplastics ay may posibilidad na maipon sa lipid-rich myelin sheath ng utak, na pumapalibot sa mga neuron at tinitiyak ang pagpapadaloy ng mga signal ng nerbiyo²⁴⁶. Ang nanoplastic ay nag-uudyok sa pagkasira ng myelin sheath ng axons^{247, 248}, na nakakagambala sa paghahatid ng Mga impulses ng nerbiyos sa pagitan ng mga neuron.

Epekto ng nanoplastics sa mga neuron

Ang epekto ng nanoplastics sa mga neuron ay maaaring matanto sa pamamagitan ng mga sumusunod na punto ng aplikasyon:

1. Epekto sa potensyal ng lamad ng mga neuron

Ang mga neuron ay gumagana dahil sa potensyal na pagkakaiba sa lamad (mga -70 mV sa pamamahinga), na nilikha dahil sa mga gradient ng ion (Na^+ , K^+ , Cl^- , atbp.) at ang aktibidad ng mga channel ng ion. Kung ang isang nanoplastic particle na may electrical charge ay inilagay malapit sa neuron membrane, maaari nitong baguhin ang electric field at ma-destabilize ang potensyal ng lamad. Ito ay maaaring humantong sa depolarization o hyperpolarization, at sa pinakamasamang kaso, sa kusang pag-activate ng neuron o pagharang ng signal.

2. Electrostatic na pakikipag-ugnayan sa mga channel ng ion

Ang mga channel ng ion sa lamad ng neuron ay naglalaman ng mga sisingilin na amino acid, lalo na sa mga “gate” ng channel. Ang isang particle na may malakas na negatibo o positibong singil ay maaaring electrostatically makipag-ugnayan sa mga lugar na ito, na nagbabago sa pagsasaayos ng channel. Maaari itong maging sanhi ng pag-block o hindi wastong pag-activate, na nakakagambala sa normal na paggana ng neuron.

3. Synaptic dysfunction

Nakadepende ang mga synapses sa tumpak na operasyon ng Ca^{2+} , Na^+ , at neurotransmitters²⁴⁹. Ang mga electrostatically charged na nanoplastic particle ay maaaring makagambala sa paglabas ng mga neurotransmitters o lumikha ng maling signal, na maaaring humantong sa mga pagkagambala sa paghahatid ng mga impulses ng nerbiyos.

²⁴⁶Peking University Center for Environmental Science and Engineering. Prof. Yi Huang’s team made new progress in atmospheric microplastic distribution and its human health risk. CESE. (2022) <https://cese.pku.edu.cn/kycg/156506.htm> (Accessed May 1, 2025).

²⁴⁷Kim, D. Y. et al. Effects of Microplastic Accumulation on Neuronal Death After Global Cerebral Ischemia. *Cells* 14, 241 (2025). <https://doi.org/10.3390/cells14040241>

²⁴⁸Zhang, Y. et al. Selective bioaccumulation of polystyrene nanoplastics in fetal rat brain and damage to myelin development. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 278, 116393 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.116393>

²⁴⁹Moiniafshari, K. et al. A perspective on the potential impact of microplastics and nanoplastics on the human central nervous system. *Environmental Science: Nano* 12, 1809–1820 (2025). <https://doi.org/10.1039/D4EN01017E>

4. Oxidative stress at pamamaga

Ang mga naka-charge na nanoplastics ay maaaring magdulot ng pagtaas sa antas ng reaktibo na mga species ng oxygen na humahantong sa oxidative stress. Ang oxidative stress sa mga neuron ay nangyayari kapag ang antas ng reaktibo na mga species ng oxygen ay lumampas sa kakayahan ng selula na i-neutralize ang mga ito. Ito ay humahantong sa pinsala sa DNA, mga istruktura ng cellular tulad ng mga lamad, protina, at mitochondria, na nakakagambala sa normal na paggana ng mga neuron. Bilang resulta, ang selula ay nawawalan ng kakayahang epektibong magpadala ng mga impulses ng nerbiyos, na nagiging sanhi ng pagkasira nito at, sa huli, kamatayan. Dahil ang mga neuron ay may limitadong kapasidad na ayusin ang kanilang mga sarili, ang pinsalang dulot ng oxidative stress ay kadalasang nagiging hindi maibabalik at maaaring humantong sa progresibong pagkasira sa memorya, atensyon, at iba pang mga pag-andar ng pag-iisip.

5. Epekto sa mitochondrial function

Ang mga nanoplastics na may electrostatic positibong singil, na tumatagos sa selula, ay maaaring maipon sa mitochondria, na nakakagambala sa kanilang potensyal na lamad. Bilang isang resulta, ang kadena ng paghinga ay nagambala, ang mga electron ay tumagas, na nakikipag-ugnayan sa oxygen at bumubuo ng mga reaktibo na oxygen species, sa partikular na mga superoxide anion. Ang kanilang labis na akumulasyon ay nagdaragdag ng oxidative stress at maaaring humantong sa pinsala sa mga istruktura ng cellular.

6. Mga mutasyon ng mitochondrial

Ang mga plastik na nanoparticle ay maaaring magdulot ng pinsala sa mitochondrial DNA, na nakakagambala sa normal na paggana ng mitochondria. Nakakaapekto ito sa mga pangunahing proseso ng cellular - produksyon ng enerhiya, kontrol sa stress ng oxidative, na-program na pagkamatay ng selula at metabolismo. Ang mga kaguluhan sa mga sistemang ito ay maaaring lumikha ng mga kondisyon na nakakatulong sa pag-unlad ng mga sakit.

7. Mga reaktibong katangian ng ibabaw ng nanoplastics

Ang mataas na tiyak na lugar sa ibabaw ng nanoplastics ay isa sa mga pangunahing kadahilanan na tumutukoy sa mataas na aktibidad ng kemikal nito at ang kakayahang maging sanhi ng pagbuo ng mga reaktibo na species ng oxygen. Kung ikukumpara sa microplastics, ang mga nanoparticle ay may surface area bawat unit mass na sampu o kahit daan-daang beses na mas malaki, na makabuluhang pinahuhusay ang kanilang pakikipag-ugnayan sa biomolecules at sa kapaligiran.

Ang electrostatic charge sa mga plastic na particle ay maaaring makagambala sa paggana ng mga neuron, na humaharang o nakakagambala sa paghahatid ng mga Mga impulses ng nerbiyos. Ito ay humahantong sa mga pagkagambala sa paggana ng sistema ng nerbiyos at maaaring maging sanhi ng malawak na hanay ng mga pathological na kondisyon sa katawan. Ito ay nagpapakita mismo sa iba't ibang neurological, hindi aktibo, nagbibigay-malay at sakit sa pag-iisip (Talahanayan 2).

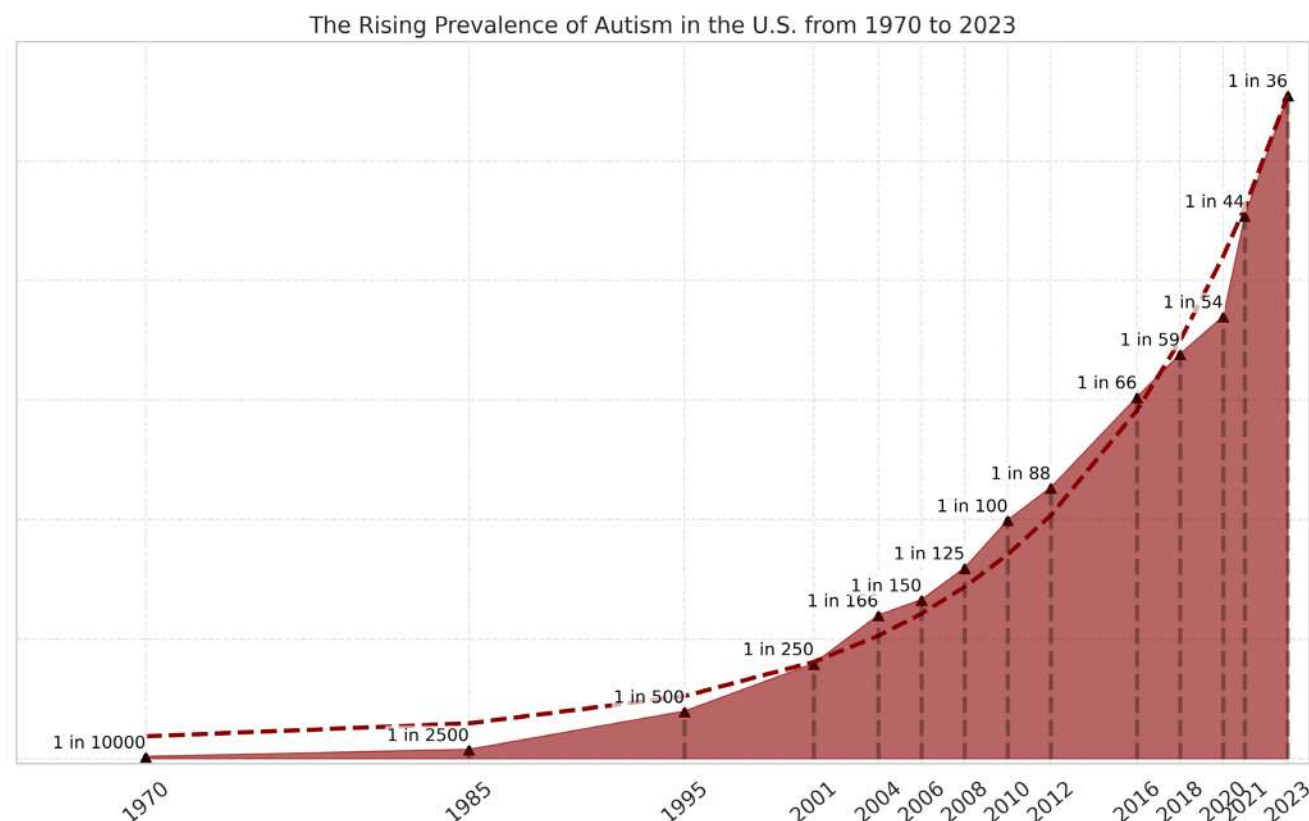
Ang epekto ng nanoplastics sa mga selula ng nerbiyos ay humahantong sa isang malawak na hanay ng mga sakit: maramihang at amyotrophic lateral sclerosis, Alzheimer's at Parkinson's disease, autoimmune disease, epilepsy, ischemic at hemorrhagic stroke, depression, pagkabalisa at cognitive disorder, schizophrenia, bipolar disorder, autism, atbp.

Kategorya	Pagpapakita	Sanhi / Mekanismo
Mga karamdaman sa paggalaw	Paralisis	Pagkagambala ng paghahatid ng mga impulses ng motor mula sa central nervous system hanggang sa mga kalamnan
	Mga kombulsyon	Kawalan ng balanse sa pagitan ng excitatory at inhibitory neurosignals
	Pagkawala ng sensitivity	Pagkabigo sa paggana ng mga sensory neural circuit na nagpapadala ng impormasyon mula sa mga receptor patungo sa utak
	Pagkagambala sa koordinasyon ng motor	Pinsala sa mga daanan ng cerebellum o spinal cord
Mga karamdaman sa pandama	Mga karamdaman sa pagsasalita, paningin at pandinig	Pinsala sa mga nerve pathway na nauugnay sa mga sensory at motor center ng utak
Mga vegetative disorder	Paghinga, tibok ng puso at digestive dysfunction	Pagkagambala ng autonomic (vegetative) nervous system
	Mga pagkabigo sa thermoregulation at pagkagambala ng mga panloob na organo	Dysfunction ng vegetative regulatory centers
Mga karamdaman sa pag-iisip	Mga karamdaman sa memorya at atensyon	Mga pagbabago sa istruktura o functional sa cerebral cortex
	Mga kaguluhan sa kamalayan, pagkawala ng malay	Pinsala sa reticular formation ng utak, na gumaganap ng mahalagang papel sa pag-regulate ng pagpupuyat at antas ng kamalayan
Mga sakit sa psychoemotional	Pagkabalisa, depresyon, mga karamdaman sa mood	Imbalance ng neurotransmitters, pinsala sa mga emosyonal na sentro ng utak

Talahanayan 2. Spectrum ng mga kondisyon ng pathological na sanhi ng epekto ng nanoplastics sa mga neuron

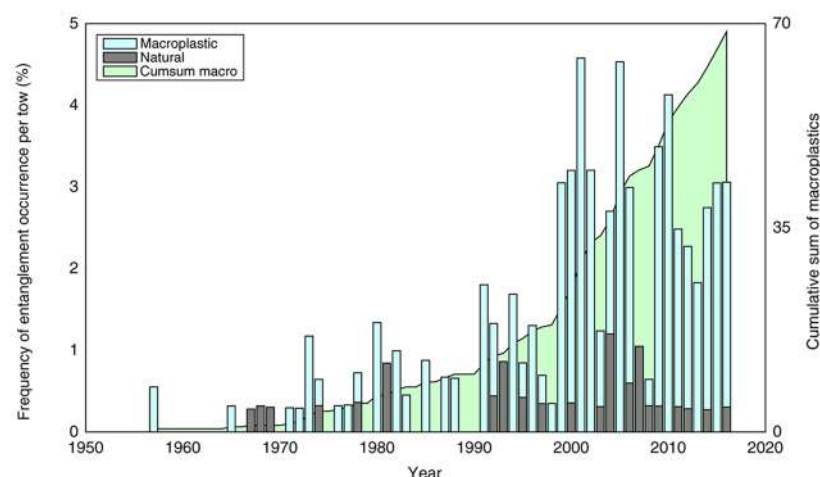
Micro- at nanoplastics bilang isang panganib na kadahilanan para sa autism spectrum disorder

Kasabay ng paglaki ng polusyon sa kapaligiran na may plastic, mayroong pagtaas sa paglaganap ng autism spectrum disorders (ASD) (Mga Larawan 96, 97).



Larawan 96. Pagtaas ng paglaganap ng autism sa United States mula 1970 hanggang 2023.

Pinagmulan ng data: Rogers, T. Ang ekonomiyang pampulitika ng autism. Substack. <https://tobyrogers.substack.com/p/the-political-economy-of-autism> (Na-access: 01.05.2025).



Larawan 97. Pagtaas ng mga plastic sa karagatan mula 1957 hanggang 2020.

Pinagmulan: Ostle, C. et al. Ang pagtaas ng mga plastic sa karagatan ay napatunayan mula sa isang 60-taong serye ng oras. *Nat Commun* 10, 1622 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41467-019-09506-1>

Ayon sa Pagsubaybay sa Autism at mga Kapansanan sa Pag-unlad Network ng CDC, 1 sa 36 na bata sa United States ang na-diagnose na may ASD noong 2020, na nagpapakita ng 317 % na pagtaas ng mga kaso mula noong 2000^{250, 251}.

Ang sistema ng nerbiyos ng tao ay bubuo mula sa yugto ng embryonic at sa pamamagitan ng maagang pagkabata. Iminumungkahi ng mga pag-aaral ang isang potensyal na link sa pagitan ng pagkakalantad sa micro- at nanoplastics (MNPs) at ang pagbuo ng ASD. Ang pang-eksperimentong data mula sa mga Korean researcher ay nagpapakita na ang prenatal at postnatal exposure sa MNPs ay maaaring mag-ambag sa neurodevelopmental disorders²⁵².

Ang isang pag-aaral sa molecular effect ng polystyrene nanoplastics sa mga neural stem cell ng tao ay nagpakita na ang nanoplastic exposure ay maaaring humantong sa pagkasira ng tissue at neurodevelopmental na mga sakit²⁵³.

Ipinakita ng mga pag-aaral ng rodent²⁵⁴ na ang pagkakalantad ng ina sa micro- at nanoplastics sa panahon ng pagbubuntis at paggagatas ay maaaring makagambala sa neurogenesis sa hippocampus ng supling, gayundin na humantong sa pagbaba sa dami ng mga istruktura ng utak, kabilang ang motor cortex, hippocampus, hypothalamus, medulla oblongata, at olfactory bulb.

Alam na ang mga pagbabago sa istruktura at pag-andar ng mga protina sa mga tisyu ng neural ay partikular na kahalagahan sa pag-unlad ng maraming sakit, kabilang ang autism²⁵⁵.

Ipinakita ng mga kamakailang pag-aaral na ang nanoplastics ay nakikipag-ugnayan sa mga protina pangunahin sa pamamagitan ng mahihinang mga bono, tulad ng mga hydrophobic na pakikipag-ugnayan, mga bono ng hydrogen, mga puwersa ng van der Waals, at mga puwersang electrostatic²⁵⁶. Ito ay humahantong sa mga pagpapangit ng istruktura ng mga molekula ng protina, na nakakagambala sa kanilang paggana. Dahil sa papel ng mga protina sa pagbuo ng mga neural network at synaptic transmission, ang mga pagbabagong ito ay maaaring maka-impluwensya sa pagbuo ng ASD.

²⁵⁰Autism Parenting Magazine. Autism Statistics You Need To Know in 2024. (2025) <https://www.autismparentingmagazine.com/autism-statistics> (Accessed May 1, 2025).

²⁵¹Centers for Disease Control and Prevention. Autism Prevalence Higher, According to Data from 11 ADDM Communities. <https://www.cdc.gov/media/releases/2023/p0323-autism.html> (Accessed May 1, 2025).

²⁵²Zaheer, J. et al. Pre/post-natal exposure to microplastic as a potential risk factor for autism spectrum disorder. *Environment International* 161, 107121 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107121>

²⁵³Martin-Folgar, R. et al. Molecular effects of polystyrene nanoplastics on human neural stem cells. *PLOS ONE* 19, e0295816 (2024). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0295816>

²⁵⁴Kim, N.-H., Choo, H.-I. & Lee, Y.-A. Effect of nanoplastic intake on the dopamine system during the development of male mice. *Neuroscience* 555, 11–22 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2024.07.018>

²⁵⁵Panisi, C. & Marini, M. Dynamic and Systemic Perspective in Autism Spectrum Disorders: A Change of Gaze in Research Opens to A New Landscape of Needs and Solutions. *Brain Sciences* 12, 250 (2022). <https://doi.org/10.3390/brainsci12020250>

²⁵⁶Windheim, J. et al. Micro- and Nanoplastics' Effects on Protein Folding and Amyloidosis. *International Journal of Molecular Sciences* 23, 10329 (2022). <https://doi.org/10.3390/ijms231810329>

Paglahok ng mga BNP sa Pathogenesis ng Mga Sakit sa Cardiovascular

Ang mga plastik na particle ay hindi lamang maaaring magpalipat-lipat sa daluyan ng dugo, ngunit tumira din sa mga pader ng vascular, na nagpapalitaw ng isang kaskad ng mga pagbabago sa pathological. Partikular na nakababahala ay ang pagtuklas ng microplastics sa atherosclerotic plaques²⁵⁷. Ang isang kamakailang pag-aaral ay nagpakita na sa mga pasyente na may microplastics sa carotid arteries, ang panganib ng myocardial infarction, stroke, at kamatayan ay 4.5 beses na mas mataas. Ipinahihiwatig nito ang aktibong partisipasyon ng mga plastic fragment sa pagbuo at destabilisasyon ng mga atherosclerotic plaque, na nagiging sanhi ng kanilang pagkalagot at pagbuo ng thrombus²⁵⁸. Ang mga BNP ay nakakagambala rin sa integridad ng endothelium, isang pangunahing layer ng mga Selula na naglinya sa panloob na ibabaw ng mga daluyan ng dugo at responsable para sa pag-regulate ng vascular tone at pagpigil sa nagpapasiklab na reaksiyon ng thrombus. Ang pinsala sa endothelial mula sa mga plastik na particle ay humahantong sa talamak na pamamaga at mas mataas na panganib ng pagbuo ng thrombus, na lalong mapanganib sa mga arterya na nagpapakain sa puso at utak²⁵⁹. Ang microplastics ay nakikipag-ugnayan sa mga nabuong elemento ng dugo, tulad ng mga platelet at pulang selula ng dugo. Itinataguyod nila ang pagsasama-sama ng platelet, na nagpapalitaw sa proseso ng pagbuo ng thrombus. Bilang karagdagan, ang ibabaw ng microplastics ay maaaring maging sanhi ng mekanikal na pinsala sa mga selula at i-activate ang mga cascades ng coagulation ng dugo, na sa mahabang panahon ay maaaring humantong sa talamak na hypercoagulability at microvascular disorder.

Nagagawa ng mga immune cell na sumipsip ng mga microplastic na particle, ngunit wala silang mga mekanismo upang ganap na masira ang mga ito. Ito ay humahantong sa pagpapangit ng cell at pagtaas ng kanilang laki. Ang akumulasyon ng naturang mga binagong selula sa maliliit na daluyan ng utak ay nag-aambag sa pagbuo ng microthrombi, na nakakagambala sa suplay ng dugo sa utak at nagpapataas ng panganib ng stroke, kabilang ang mga kaso sa batang edad na²⁶⁰. Ang talamak na pagbawas sa suplay ng oxygen sa utak (hypoxia) ay humahantong sa pagkamatay ng mga neuron at pag-unlad ng mga pagbabago sa neurodegenerative, kabilang ang pagkasayang ng tisyu ng utak²⁶¹. Sa matagal na pagkakalantad, ang mga prosesong ito ay maaaring maging sanhi ng pagbawas sa dami ng mga indibidwal na istruktura ng utak.

Dahil sa electrostatic charge, aktibong nakikipag-ugnayan ang BNP sa mga lamad ng selula, na nakakagambala sa kanilang potensyal na elektrikal. Ito, sa turn, ay nakakaapekto sa vascular contractility, signal transmission sa myocytes at ritmo ng puso. Ang namamatay mula sa mga sakit sa cardiovascular ay patuloy na tumataas sa buong mundo (Larawan 98). Ang partikular na atensyon ay dapat bayaran sa biglaang cardiac death syndrome sa mga kabataang may edad na 25–44 taong gulang²⁶² (Larawan 99). Sa Estados Unidos, kinikilala ito bilang pangunahing sanhi ng kamatayan. Sa nakalipas na dalawang dekada, ang bilang ng mga kaso ay tumaas nang husto. Dahil sa ubiquity ng MNEs, ang kanilang potensyal na papel sa mga kalunos-lunos na kaganapang ito ay hindi maaaring iwanan.

²⁵⁷Liu, S. et al. Microplastics in three types of human arteries detected by pyrolysis-gas chromatography/mass spectrometry (Py-GC/MS). *Journal of Hazardous Materials* 469, 133855 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.133855>

²⁵⁸Marfella, R. et al. Microplastics and Nanoplastics in Atheromas and Cardiovascular Events. *N Engl J Med* 390, 900–910 (2024). <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2309822>

²⁵⁹Rajendran, D. & Chandrasekaran, N. Journey of micronanoplastics with blood components. *RSC Adv.* 13, 31435–31459 (2023). <https://doi.org/10.1039/D3RA05620A>

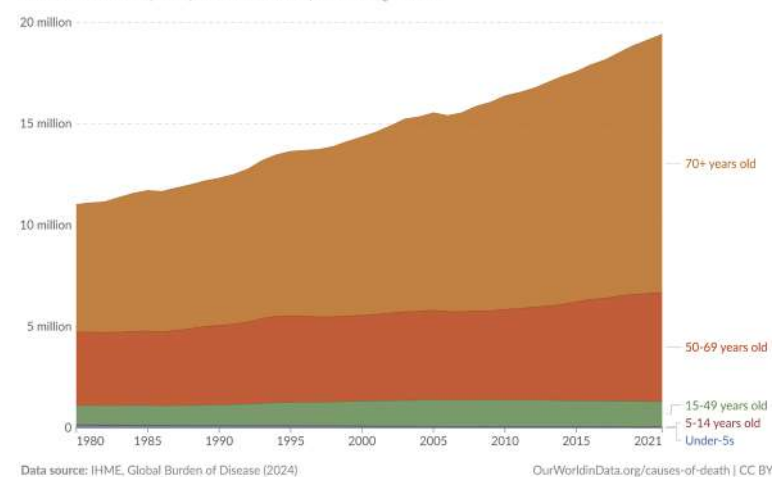
²⁶⁰Huang, H. et al. Microplastics in the bloodstream can induce cerebral thrombosis by causing cell obstruction and lead to neurobehavioral abnormalities. *Sci. Adv.* 11, eadr8243 (2025). <https://doi.org/10.1126/sciadv.adr8243>

²⁶¹Kaushik, A., Singh, A., Kumar Gupta, V. & Mishra, Y. K. Nano/micro-plastic, an invisible threat getting into the brain. *Chemosphere* 361, 142380 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.142380>

²⁶²Zuin, M. et al. Trends in Sudden Cardiac Death Among Adults Aged 25 to 44 Years in the United States: An Analysis of 2 Large US Databases. *JAHA* 14, e035722 (2025). <https://doi.org/10.1161/JAHA.124.035722>

Number of deaths from cardiovascular diseases by age, World

Estimated annual number of deaths from cardiovascular diseases¹ in each age group. Estimates come with wide uncertainties especially for countries with poor vital registration².

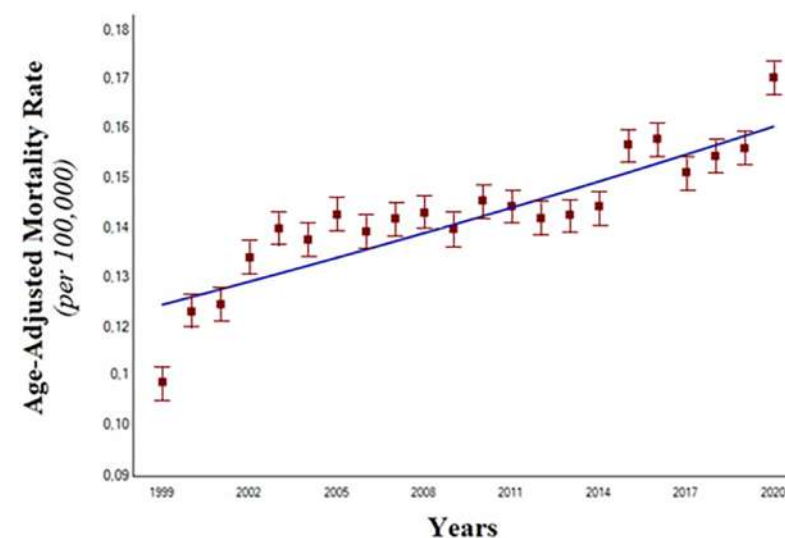


1. Cardiovascular disease: Cardiovascular diseases cover all diseases of the heart and blood vessels - including heart attacks and strokes, atherosclerosis, ischemic heart disease, hypertensive diseases, cardiomyopathy, rheumatic heart disease, and more. They tend to develop gradually with age, especially when people have risk factors like high blood pressure, smoking, alcohol use, poor diet, and air pollution.

2. Civil Registration and Vital Statistics system: A Civil Registration and Vital Statistics system (CRVS) is an administrative system in a country that manages information on births, marriages, deaths and divorces. It generates and stores 'vital records' and legal documents such as birth certificates and death certificates. You can read more about how deaths are registered around the world in our article: How are causes of death registered around the world?

Larawan 98. Mga pagkamatay ng sakit sa cardiovascular ayon sa edad. Mundo.

Pinagmulan: Ang Aming Daigdig sa Data <https://ourworldindata.org/grapher/cardiovascular-disease-deaths-by-age>



Larawan 99. Mga uso sa mga rate ng biglaang pagkamatay ng cardiac na nababagay sa edad na may nauugnay na 95% CI sa mga young adult na may edad 25 hanggang 44 na taon sa Estados Unidos, 1999 hanggang 2020.

Pinagmulan: Zuin, M. et al. Mga Uso sa Biglaang Pagkamatay ng Puso sa mga Nasa hustong gulang na 25 hanggang 44 na Taon sa Estados Unidos Isang Pagsusuri sa 2 Malaking Database ng US. *JAHA* 14, e035722 (2025). <https://doi.org/10.1161/JAHA.124.035722>

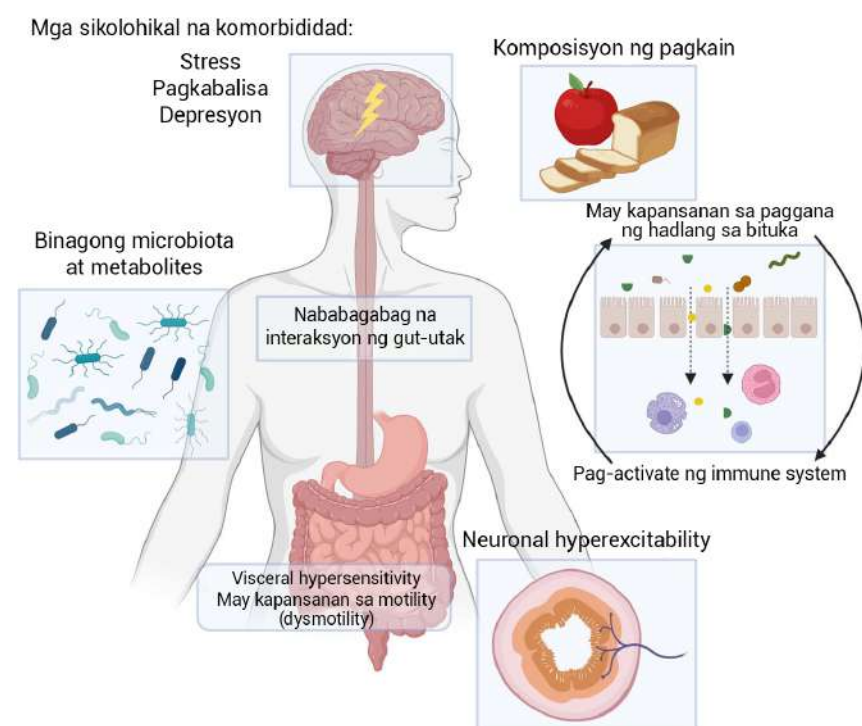
Ang isa pang seryosong problema ay ang pagtaas ng sindrom ng biglaang pagkamatay ng sanggol. Sa US lamang, ang rate ng sindrom na ito ay tumaas ng 15% mula 2019 hanggang 2020, lumilipat mula sa ikaapat hanggang ikatlong puwesto sa mga sanhi ng pagkamatay ng sanggol²⁶³. Bagama't ang mga sanhi ng sindrom ng biglaang pagkamatay ng sanggol ay hindi pa ganap na naitatag, maraming mga siyentipiko ang nagmumungkahi na ang mga salik na nakakagambala sa regulasyon ng ritmo ng puso at tono ng vascular sa mga sanggol ay maaaring may mahalagang papel. Ang mga nanoplastics, na maaaring tumagos sa inunan at maipon sa mga tisyu ng pagbuo ng organismo, ay isa sa mga posibleng kadahilanan ng panganib. Parami nang parami ang mga siyentipiko na sumasang-ayon na ang nanoplastics ay isa sa mga pangunahing kandidato para sa papel ng “hindi nakikitang mamamatay-tao”.

²⁶³Shapiro-Mendoza, C. K. et al. Sudden Unexpected Infant Deaths: 2015–2020. *Pediatrics* 151, e2022058820 (2023). <https://doi.org/10.1542/peds.2022-058820>

Ang puso, bilang isa sa mga organo na pinakakumukonsumo ng enerhiya, ay kritikal na umaasa sa mahusay na paggana ng mitochondria, na nagbibigay dito ng enerhiya. Ang pagkakalantad sa mga microplastic na particle ay nakakagambala sa mga proseso ng mitochondrial, na maaaring humantong sa kakulangan ng enerhiya sa myocardium at, bilang resulta, sa kapansanan sa paggana ng puso.

Gastrointestinal dysfunction sanhi ng MNP

Ang bituka ay ang pinakamalaking immune organ sa katawan ng tao. Naglalaman ito ng humigit-kumulang 70% ng lahat ng immune cells, humigit-kumulang 500 milyong neuron, at higit sa 100 trilyong mikroorganismo²⁶⁴. Ang bituka microbiota ay gumaganap ng isang mahalagang papel sa pagpapanatili ng immune system. Ang kawalan ng timbang sa microbiota ay maaaring magpahina sa immune system at mag-ambag sa pag-unlad ng iba't ibang sakit. Ang bituka ay madalas na tinatawag na “pangalawang utak” dahil sa siksik nitong network ng mga neuron at ang kakayahang makipag-ugnayan sa gitnang sistema ng nerbiyos²⁶⁵. Ang pagpapalitan ng mga kumplikadong biochemical signal sa pagitan ng utak at bituka ay tinatawag na “brain-gut axis” at gumaganap ng isang mahalagang papel sa pagsasaayos ng parehong pisikal at psycho-emosyonal na estado (Larawan 100).



Larawan 100. Mga mekanismo ng pathophysiological sa mga karamdaman ng pakikipag-ugnayan ng gat-utak.

Pinagmulan: Vanuytsel, T., Bercik, P. & Boeckxstaens, G. Pag-unawa sa mga pakikipag-ugnayan ng neuroimmune sa mga karamdaman ng pakikipag-ugnayan ng gut-utak: mula sa functional hanggang sa mga immune-mediated disorder. *Gut* 72, 787–798 (2023). <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2020-320633>

²⁶⁴Sofield, C. E., Anderton, R. S. & Gorecki, A. M. Mind over Microplastics: Exploring Microplastic-Induced Gut Disruption and Gut-Brain-Axis Consequences. *Current Issues in Molecular Biology* 46, 4186–4202 (2024). <https://doi.org/10.3390/cimb46050256>

²⁶⁵Jiefang Daily. Intestine is the second brain? It can also communicate with multiple organs in both directions | New People - Health News. (2025) <https://www.jfdaily.com/statics/res/html/web/newsDetail.html?id=866347> (Accessed May 1, 2025).

Ang isang malusog na hadlang sa bituka ay pumipigil sa mga mikrobyo at dayuhang particle mula sa pagtagos mula sa lumen ng bituka patungo sa daluyan ng dugo²⁶⁵. Ang micro- at nanoplastics ay nakakagambala sa proteksiyong ito, na nagpapataas ng permeability ng bituka na pader. Bilang isang resulta, ang pamamaga ay bubuo kapwa sa bituka at sa iba pang mga organo, na nag-aambag sa isang pagpapahina ng immune system²⁶⁶. Kasabay nito, ang GNP ay nakakaapekto sa komposisyon ng bituka microbiota, na nagiging sanhi ng kawalan ng timbang sa pagitan ng mga kapaki-pakinabang at pathogenic mikroorganismo. Nakakaabala ito sa mga proseso ng panunaw, binabawasan ang kakayahan ng katawan na sirain ang mga allergen sa pagkain at pinatataas ang panganib na magkaroon ng mga allergy sa pagkain²⁶⁷.

Kaya, lumitaw ang isang mabisyo na bilog: ang plastik ay nakakagambala sa microbiota, pinatataas ang pamamaga at pagkamatagusin ng mga dingding ng bituka, kung saan ang mga toxin, bakterya at ang plastik mismo ay nagsisimulang tumagos sa dugo. Ang pagtagos ng mga sangkap na ito sa dugo ay nagpapalitaw ng immune response, na humahantong sa talamak na pamamaga sa buong katawan. Ang mga lason, bacteria at nano plastic mula sa dugo ay pumapasok sa utak sa pamamagitan ng hadlang sa dugo-utak, na nagiging sanhi ng mga nagpapaalab na reaksiyon sa utak. Ang mga prosesong ito, sa turn, ay higit na nakakagambala sa regulasyon ng immune response, nagpapataas ng stress response ng katawan at maaaring negatibong makaapekto sa estado ng microbiota sa pamamagitan ng mga mekanismo ng neuroendocrine, at sa gayon ay isinasara ang mabisyo na bilog sa axis ng “mabuting utak”.

Ang pagkagambala ng mga pakikipag-ugnayan sa pagitan ng microbiome ng bituka at ng gitnang sistema ng nerbiyos ay direktang nauugnay sa mga neurological disorder. Halimbawa, ang mga batang may autism spectrum disorder ay natagpuang may malinaw na kawalan ng balanse sa microbiota, na kinumpirma ng parehong pagsusuri ng microbiological at pagtatasa ng mga function ng sistema ng pagtunaw²⁶⁸.

Ang mga pag-aaral ng mga pasyente na may nagpapaalab na sakit sa bituka ay nagpapakita ng isang positibong ugnayan sa pagitan ng kalubhaan ng sakit at ang konsentrasyon ng microplastics sa mga dumi. Sa mga pasyenteng may inflammatory bowel disease, ito ay mas mataas (41.8 pcs/g) kumpara sa malusog na tao (28.0 pcs/g). Ang mga naturang pasyente ay nagpakita rin ng isang makabuluhang akumulasyon ng microplastics sa ulcerative lesyon ng rectal mucosa²⁶⁹.

Bilang karagdagan, ang microplastics na natitira sa bituka ay patuloy na may nakakapinsalang epekto kahit na matagal na pagkatapos ng unang pagpasok sa katawan.

²⁶⁴Sofield, C. E., Anderton, R. S. & Gorecki, A. M. Mind over Microplastics: Exploring Microplastic-Induced Gut Disruption and Gut-Brain-Axis Consequences. *Current Issues in Molecular Biology* 46, 4186–4202 (2024). <https://doi.org/10.3390/cimb46050256>

²⁶⁶Winiarska, E., Jutel, M. & Zemelka-Wiacek, M. The potential impact of nano- and microplastics on human health: Understanding human health risks. *Environmental Research* 251, 118535 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118535>

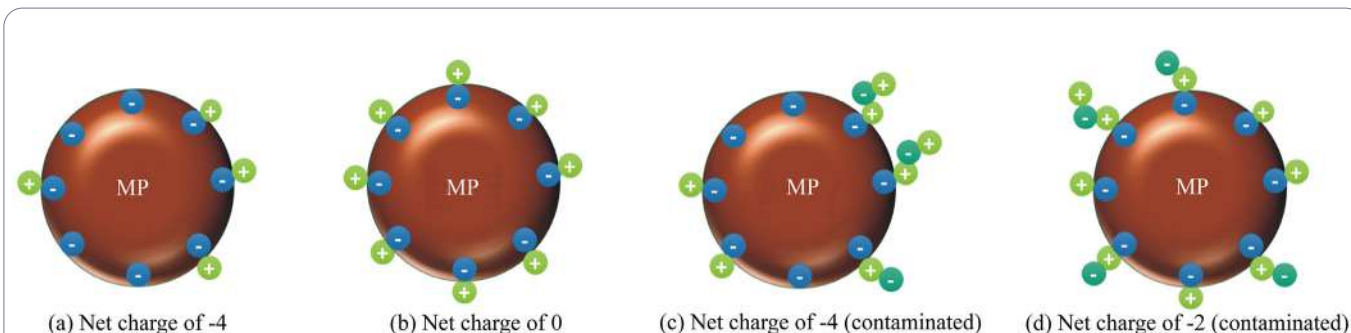
²⁶⁷ScienceDirect. Food allergy. ScienceDirect Topics. <https://www.sciencedirect.com/topics/pharmacology-toxicology-and-pharmaceutical-science/food-allergy> (Accessed May 1, 2025).

²⁶⁸Su, Q., Wong, O.W.H., Lu, W. et al. Multikingdom and functional gut microbiota markers for autism spectrum disorder. *Nat Microbiol* 9, 2344–2355 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41564-024-01739-1>

²⁶⁹ScienceDirect. Inflammatory bowel disease. ScienceDirect Topics. <https://www.sciencedirect.com/topics/pharmacology-toxicology-and-pharmaceutical-science/inflammatory-bowel-disease> (Accessed May 1, 2025).

Epekto ng mga MNP sa immune system

Ang mga naka-charge na particle ng MNP ay mas madaling makaakit ng iba pang mga molekula, tulad ng mga lason, mabibigat na metal na asin, bakterya at mga virus (Larawan 101). Ginagawa silang isang uri ng “platform ng transportasyon” para sa mga nakakalason na compound, na nagpapahusay sa biological na aktibidad at toxicity ng huli. Ang electrostatic charge ng nanoplastics ay isang uri ng recharge o “muling magkarga” dahil sa kung saan ang bacteria at virus ay nananatiling mabubuhay nang mas matagal.



Larawan 101. Ilustrasyon ng epekto ng mga singil sa ibabaw ng microplastics na dulot ng mga pollutant sa tubig.

Pinagmulan: Rahman, A. M. N. A. A. et al. Isang pagsusuri ng mga pakikipag-ugnayan sa ibabaw ng microplastic sa tubig at mga potensyal na paraan ng pagkuha. *Agham at Inhinyero ng Tubig* 17, 361–370 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.wse.2023.11.008>

Sa wakas, ang mga sisingilin na particle ng micro at nano plastic ay maaaring manatili sa tubig at hangin nang mas matagal, mas madaling tumaas sa aerosol at pumasok sa respiratory tract, na nagpapataas ng panganib ng pagtagos ng mga ito sa katawan ng tao.

Ang pinagsamang epekto ng mga MNP sa microbiome, pathogens at immune system ay lumilikha ng mga kumplikadong panganib sa kalusugan.

Ang mga immune cell na nakikipag-ugnayan sa microplastics ay namamatay nang halos tatlong beses na mas mabilis kaysa sa mga hindi nakakaharap sa kanila²⁷⁰.

Nagagawa ng mga microplastic na particle na mag-adsorb ng mga virus sa kanilang ibabaw dahil sa electrostatic at hydrophobic na mga pakikipag-ugnayan, kaya pinahaba ang kanilang viability²⁷¹.

²⁷⁰Plastics News. Study highlights health hazards of microplastics. (2019) <https://www.plasticsnews.com/news/study-highlights-health-hazards-microplastics> (Accessed May 1, 2025).

²⁷¹Moresco, V. et al. Binding, recovery, and infectiousness of enveloped and non-enveloped viruses associated with plastic pollution in surface water. *Environmental Pollution* 308, 119594 (2022).

Ang mga virus sa ibabaw ng microplastics ay nananatiling aktibo hanggang sa tatlong araw - ito ay sapat na upang maglakbay, halimbawa, mula sa wastewater treatment plant hanggang sa mga beach²⁷².

Pinapadali ng microplastics ang pagkalat ng mga pathogen at maaaring mapadali ang kanilang genetic recombination. Ipinakita ng pananaliksik na ang mga plastik na particle ay hindi lamang nakakapinsala sa pagiging epektibo ng mga gamot, ngunit maaari ring mag-ambag sa pagbuo ng mga bakterya na lumalaban sa mga antibiotics²⁷³.

Ang mga naka-charge na particle ng BNP ay nagsisilbing colonization platform para sa mga microorganism²⁷⁴. Ang bacteria at fungi ay nagpapakita ng pinabilis na paglaki gamit ang electrostatic field ng nanoplastics. Ipinakita ng mga pag-aaral sa daphnia na ang pagkakalantad sa nanoplastics ay nagdudulot ng oxidative stress at nagpapataas ng fungal infection ng 11-fold (*Metschnikowia* species)²⁷⁵. Ito ay pare-pareho sa pandaigdigang pagpapalawak ng mga fungal disease at ang kanilang resistensya, na kinilala ng WHO bilang isang lumalagong banta sa kalusugan ng publiko.



“Ang mga impeksyon sa fungal ay kumakalat at nagiging mas lumalaban sa paggamot, na lumalabas mula sa anino ng pandemya ng panlaban sa antimicrobial, na ginagawa silang isang pandaigdigang problema sa kalusugan ng publiko,” sabi ni Dr Hanan Balkhi, WHO Assistant Director-General para sa Antimicrobial Resistance²⁷⁶.

Ang mga fungal metabolite na inilabas sa pagkakaroon ng mga BNP ay nauugnay sa paglaki ng tumor²⁷⁷ at talamak na pamamaga. Ang fungal DNA ay nakita sa ilang uri ng cancer, na nagmumungkahi ng potensyal na papel para sa BNP sa oncogenesis²⁷⁸.

²⁷²University of Stirling. Hitch-hiking viruses can survive on microplastics in freshwater, new study finds. (2022) <https://www.stir.ac.uk/news/2022/june-2022-news/hitch-hiking-viruses-can-survive-on-microplastics-in-freshwater-new-study-finds> (Accessed May 1, 2025).

²⁷³Dick, L. et al. The adsorption of drugs on nanoplastics has severe biological impact. *Sci Rep* 14, 25853 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-75785-4>

²⁷⁴Rahman, A. M. N. A. A. et al. A review of microplastic surface interactions in water and potential capturing methods. *Water Science and Engineering* 17, 361–370 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.wse.2023.11.008>

²⁷⁵Manzi, F., Schlösser, P., Owczarz, A. & Wolinska, J. Polystyrene nanoplastics differentially influence the outcome of infection by two microparasites of the host *Daphnia magna*. *Phil. Trans. R. Soc. B* 378, 20220013 (2023). <https://doi.org/10.1098/rstb.2022.0013>

²⁷⁶World Health Organization. WHO releases first-ever list of health-threatening fungi. (2022) <https://www.who.int/news/item/25-10-2022-who-releases-first-ever-list-of-health-threatening-fungi> (Accessed May 1, 2025).

²⁷⁷Ayut, B., Pushalkar, S., Chen, R. et al. The fungal mycobiome promotes pancreatic oncogenesis via activation of MBL. *Nature* 574, 264–267 (2019).

<https://doi.org/10.1038/s41586-019-1608-2>

²⁷⁸Dohlman, A. B. et al. A pan-cancer mycobiome analysis reveals fungal involvement in gastrointestinal and lung tumors. *Cell* 185, 3807-3822.e12 (2022).

<https://doi.org/10.1016/j.cell.2022.09.015>

Oncogenic na pagkilos ng BNP.

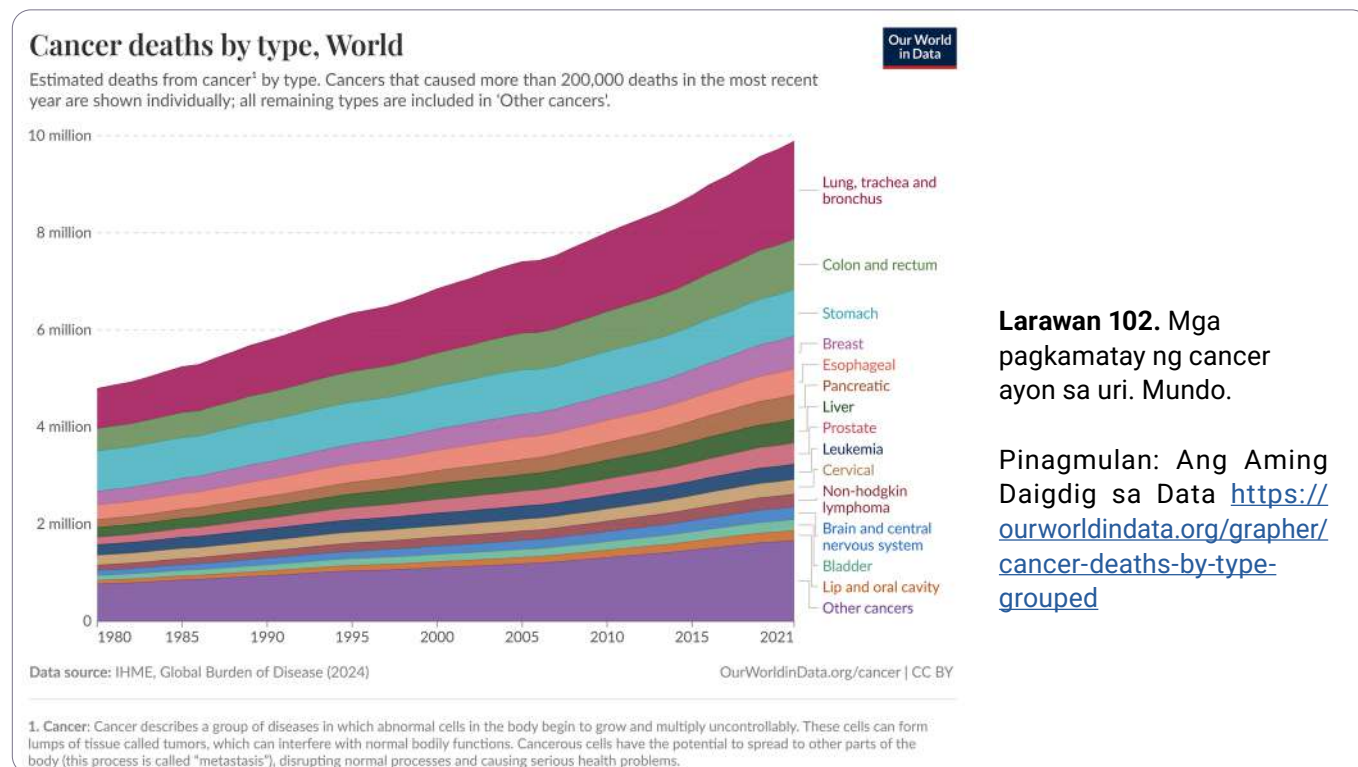
Mga mekanismo ng mutasyon at pag-unlad ng metastases

Ayon sa impormasyong ipinakita sa itaas, ang micro at nanoplastics ay isang makabuluhang kadahilanan sa pag-unlad ng mga malignant na tumor, dahil sa kanilang negatibong epekto sa mga antas ng cellular at systemic.

Ipinakikita ng mga pag-aaral na ang microplastics at nanoplastics ay maaaring gumanap ng papel na ginagampanan ng mga nakatagong katalista para sa pag-unlad ng kanser, pagpapahusay ng paglipat ng selula at pagtataguyod ng metastasis²⁷⁹. Napag-alaman din na ang mga particle ng BNP ay maaaring manatili sa loob ng mga selula sa loob ng mahabang panahon at maipadala sa mga selula ng anak sa panahon ng paghahati.

Sa kasalukuyan, ang dami ng namamatay mula sa kanser sa mundo ay patuloy na lumalaki (Larawan 102).

Sa pamamagitan ng 2050, ang bilang ng mga bagong kaso ng kanser ay inaasahang tataas ng 77%²⁸⁰.



²⁷⁹Brynzak-Schreiber, E. et al. Microplastics role in cell migration and distribution during cancer cell division. Chemosphere 353, 141463 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.141463>

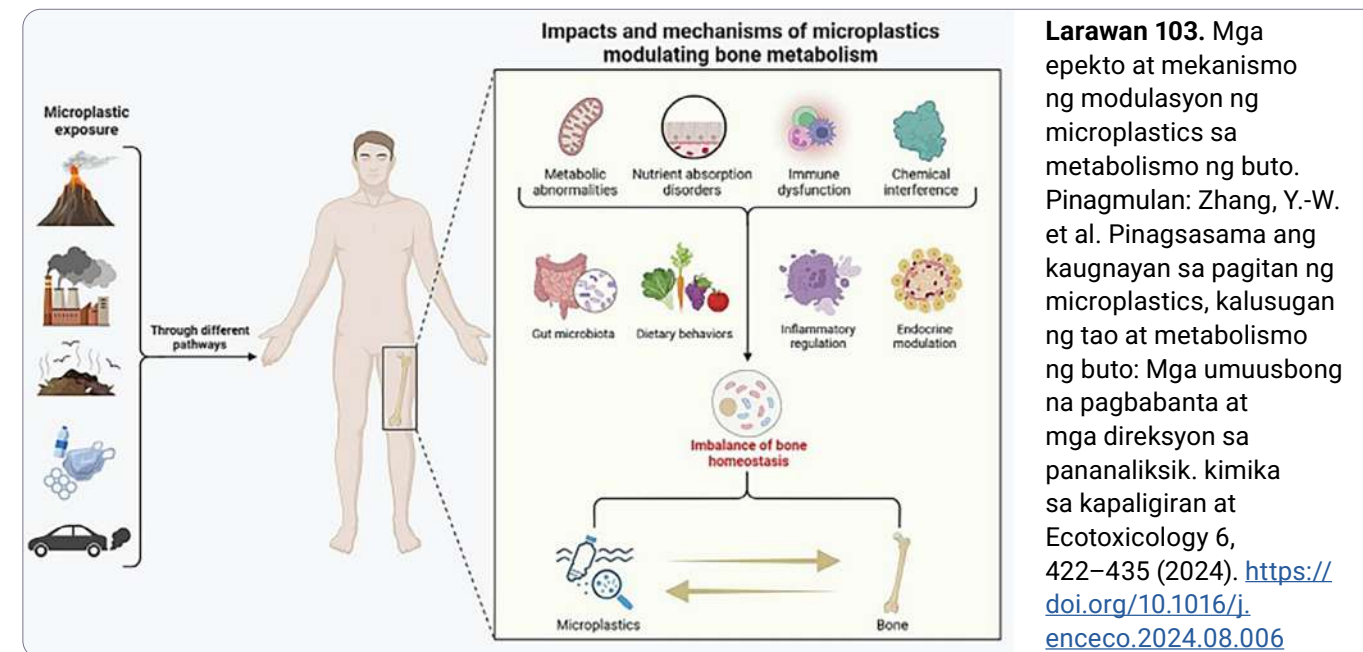
²⁸⁰World Health Organization. Global cancer burden growing, amidst mounting need for services. (2024). <https://www.who.int/news/item/01-02-2024-global-cancer-burden-growing--amidst-mounting-need-for-services> (Accessed May 1, 2025).

Ang Epekto ng MNPs sa Kaltsyum Matabolismo at istruktura Ng buto

Ang mga plastik na particle ay maaari pang tumagos sa musculoskeletal system, ang batayan ng pisikal na paggana ng tao (Larawan 103). Kung saan may tumpak na balanse sa pagitan ng pagkasira at pagtatayo, kung saan ang mga buto ay na-renew araw-araw, ang mga joints ay sumisipsip ng friction, at ang mga kalamnan ay nagpapanatili ng paggalaw at init, ang microplastics - kabilang ang dahil sa kanilang electrostatic charge - ay maaaring palitan ang pagbuo ng mga molekula at simulan ang mabagal, mapanirang proseso.

Ipinakikita ng pananaliksik na ang microplastics ay maaaring tumagos sa tissue ng buto, kung saan ang kanilang molecular structure ay nagpapahintulot sa kanila na gayahin ang calcium at iba pang mineral na kinakailangan para sa bone metabolism. Bilang isang resulta, ang katawan ay maaaring magkamali na malasahan ang plastik bilang isang materyal na gusali para sa mga buto. Ang katawan ay literal na nagsisimulang "bumuo" ng mga buto mula sa plastik.

Ang pagkagambalang ito ng pagkilala sa molekular ay nauugnay sa isang bilang ng mga negatibong kahirinatnan: ang microplastics ay maaaring makagambala sa mga pag-andar ng mga osteoblast at osteoclast, makagambala sa metabolismo ng calcium at phosphorus, at sa gayon ay nag-aambag sa pagbuo ng osteoporosis. Ang mga nagpapasiklab na kaskad ay na-trigger, ang expression ng gene ay nagambala, at ang tissue ng buto ay nawawalan ng density at lakas. Bilang karagdagan, ang pagkakaroon ng nanoplastics ay maaaring magdulot ng talamak na pamamaga na pumipinsala sa articular cartilage at bone tissue, na nauugnay sa mas mataas na panganib ng osteoarthritis, pain syndrome, at paninigas ng paggalaw^{281, 282}.



²⁸¹Zhang, Y.-W. et al. Bridging relevance between microplastics, human health and bone metabolism: Emerging threats and research directions. Environmental Chemistry and Ecotoxicology 6, 422–435 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.enceco.2024.08.006>

²⁸²China Environment News. Microplastics "secretly attack" the human body, how much damage can they cause? (2025). <https://cenews.com.cn/news.html?aid=1205048> (Accessed May 1, 2025).

Ang isang pag-aaral sa mga daga ay nagpakita na ang bilang ng mga osteoblast ay makabuluhang nabawasan sa mga daga na binigyan ng polystyrene microplastic²⁸⁰.

Ang plastik ay nagdudulot ng banta sa mga kalamnan ng kalansay. Ipinakikita ng mga pag-aaral na ang nanoplastics ay maaaring tumagos sa mga selula ng kalamnan, na nakakagambala sa paggana ng mitochondria. Ang isang kakulangan sa enerhiya ay nangyayari, ang mga agresibong anyo ng aktibong oxygen ay isinaaktibo, na nagpapabilis sa pagtanda ng selula, nakakagambala sa pagbawi ng kalamnan pagkatapos ng ehersisyo at nag-aambag sa kanilang pagkasayang. Ang mga matatanda at mga pasyente na may mga malalang sakit ay lalong mahina.

Ang micro at nanoplastics ay naipon sa utak ng buto²⁸³, na nakakagambala sa pagbuo ng mga stem cell (hematopoietic at mesenchymal)²⁸⁴, kung saan nabuo ang mga erythrocytes, leukocytes, platelet, osteocytes, chondrocytes at adipocytes. Ang kanilang dysfunction ay nagdudulot ng systemic na pinsala sa katawan.

Mga karamdaman sa reproductive na nauugnay sa pagkakalantad sa MNP. Kawalan ng katabaan at Paninigas dysfunction

Pagbaba ng Pagkamayabong

Ang mundo ay hinuhulaan na magiging ganap na baog sa 2045²⁸⁵.

Noong 2018, isang grupo ng mga nangungunang doktor at siyentipiko sa XIII International Symposium sa Spermatology sa Stockholm ang nanawagan sa mga pamahalaan na kilalanin ang bumababang pagkamayabong ng lalaki bilang isang malubhang problema sa kalusugan ng publiko at kilalanin ang kahalagahan ng kalusugan ng reproduktibo ng lalaki para sa kaligtasan ng mga uri ng tao²⁸⁶.

Taliwas sa popular na paniniwala, ang kalusugan ng reproduktibo ay hindi lamang natutukoy ng hormonal balance, pagmamana, at pamumuhay. Parami nang parami ang siyentipikong pananaliksik na tumuturo sa kritikal na papel ng mitochondria sa mga proseso ng paglilihi at pagbuo ng embryo. Ang mga maliliit na organel na ito, na responsable sa paggawa ng enerhiya na kinakailangan para sa lahat ng mga proseso ng buhay, ay gumaganap ng isang mapagpasyang papel sa pagkamayabong sa parehong mga kalalakihan at kababaihan, at ang kanilang kahalagahan para sa paggana ng reproduktibo ng tao ay lumalabas na mas malalim.

Ang mitochondrial dysfunction ay maaaring maging sanhi ng kawalan ng katabaan sa mga babae at lalaki. Sa mga lalaki, ang mitochondria, na matatagpuan sa buntot ng tamud, ay responsable para sa motility na kinakailangan para sa pagpapabunga. Ang mga madepektong paggawa sa kanilang trabaho ay nagpapababa ng motility ng Tamud at maaaring magdulot ng mga abnormalidad.

²⁸⁰World Health Organization. Global cancer burden growing, amidst mounting need for services. (2024) <https://www.who.int/news/item/01-02-2024-global-cancer-burden-growing-amidst-mounting-need-for-services> (Accessed May 1, 2025).

²⁸³Guo, X. et al. Discovery and analysis of microplastics in human bone marrow. *Journal of Hazardous Materials* 477, 135266 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.135266>

²⁸⁴Sun, R. et al. Preliminary study on impacts of polystyrene microplastics on the hematological system and gene expression in bone marrow cells of mice. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 218, 112296 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112296>

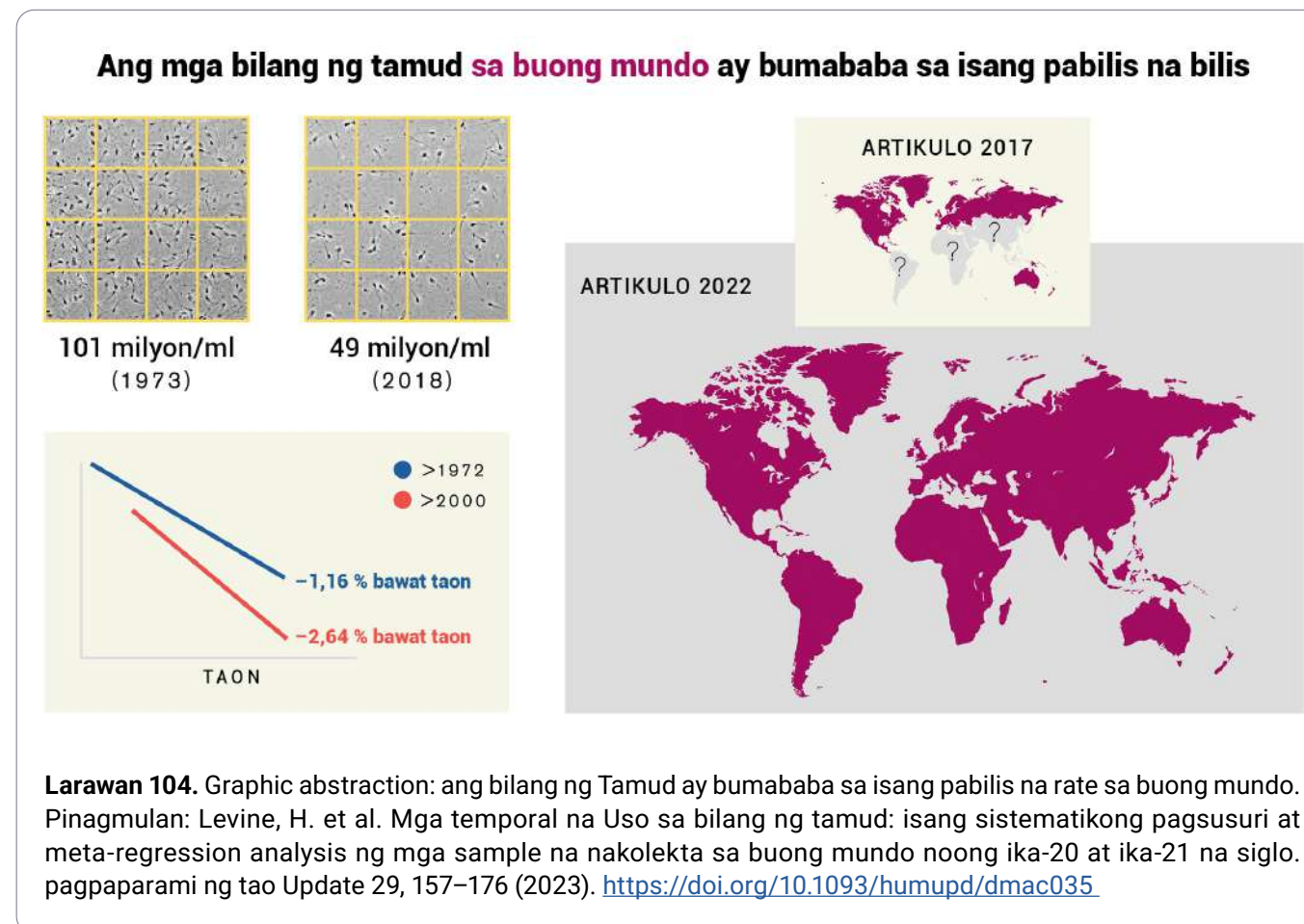
²⁸⁵The Guardian. Shanna Swan: 'Most couples may have to use assisted reproduction by 2045'. (2021) <https://www.theguardian.com/society/2021/mar/28/shanna-swann-fertility-reproduction-count-down> (Accessed May 1, 2025).

²⁸⁶Levine, H. et al. Male reproductive health statement (XIIIth international symposium on Spermatology, may 9th–12th 2018, Stockholm, Sweden. *Basic Clin. Androl.* 28, 13 (2018). <https://doi.org/10.1186/s12610-018-0077-z>

Sa mga pag-aaral na isinagawa ng mga siyentipikong Tsino, ang microplastics ay natagpuan sa lahat ng mga sample ng tamud - isang karaniwan ng dalawang particle hanggang sa 7 microns ang laki, kadalasang polystyrene²⁸⁷. Ang presensya nito ay nauugnay sa morphological abnormalities sa tamud at pagpapaikli ng telomeres.

Dahil sa mikroskopiko na laki at singil nito, ang mga nanoplastics ay nagtagumpay sa hematotesticular barrier at tumagos sa mga maselang bahagi ng katawan, na nakakagambala sa kanilang mga pag-andar.

Ang partikular na pag-aalala ay ang naobserbahang trend ng pagbaba sa kabuuang bilang ng tamud sa mga lalaki ng 62.3% mula 1973 hanggang 2018²⁸⁸ (Larawan 104).

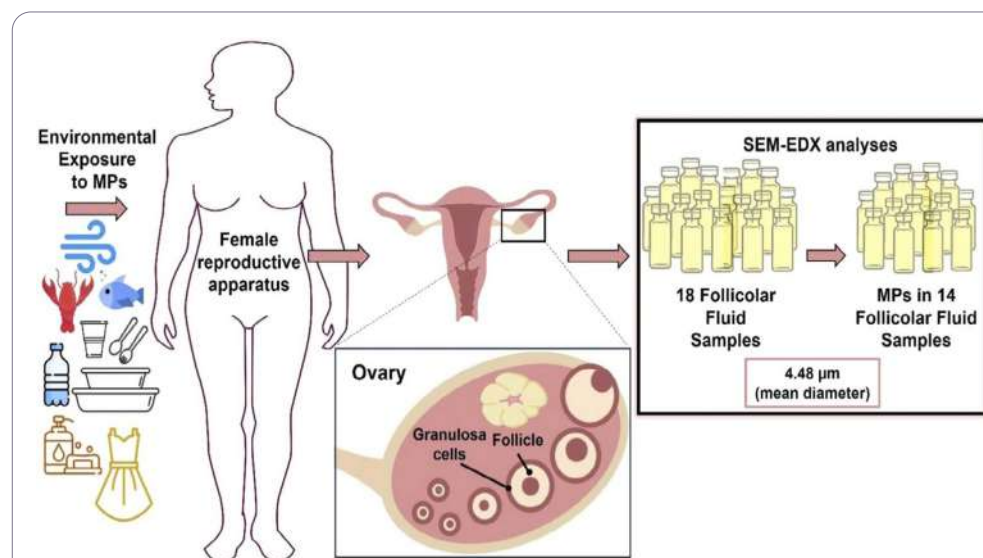


Habang ang pagkamayabong ay naiimpluwensyahan ng maraming mga kadahilanan, parami nang parami ang mga siyentipiko na naniniwala na ang mga kemikal na compound na nasa plastic ay may mahalagang papel sa prosesong ito. Ang mga phthalates, na ginagamit upang gawing flexible ang plastic, nakakagambala sa mga antas ng hormonal, nagpapababa ng libido, at maaaring mag-ambag sa napaaga na pagdadalaga at testicular dysfunction.

²⁸⁷Li, N. et al. Prevalence and implications of microplastic contaminants in general human seminal fluid: A Raman spectroscopic study. *Science of The Total Environment* 937, 173522 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173522>

²⁸⁸Levine, H. et al. Temporal trends in sperm count: a systematic review and meta-regression analysis of samples collected globally in the 20th and 21st centuries. *Human Reproduction Update* 29, 157–176 (2023). <https://doi.org/10.1093/humupd/dmac035>

Ang sitwasyon sa babaeng pagkamayabong ay hindi gaanong nakakaalarma. Ang isang pag-aaral noong 2025 ay nakakita ng mga microplastic na particle sa ovarian follicular fluid ng 14 sa 18 kababaihan, na may average na higit sa 2,000 particle bawat milliliter, karamihan sa mga ito ay mas mababa sa 5 μm sa diameter²⁸⁹ (Larawan 105).



Larawan 105. Schematic diagram ng mekanismo kung saan ang mga MP ay pumapasok sa ovarian follicular fluid: sa pamamagitan ng pagkakalantad sa kapaligiran (paglanghap, paglunok, at pagkakadikit sa balat) pumapasok sila sa katawan ng tao, na umaabot sa babaeng reproductive system, lalo na, sa pamamagitan ng pagtagumpayan sa hadlang sa dugo-follicular.

Pinagmulan: Montano, L. et al. Unang katibayan ng microplastics sa human ovarian follicular fluid: Isang umuusbong na banta sa pagkamayabong ng babae. *Ecotoxicology at Kaligtasan sa Kapaligiran* 291, 117868 (2025). <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2025.117868>

Ang mga datos na ito ay nagpapahiwatig ng kakayahan ng mga plastic particle na malampasan ang hematofollicular barrier sa mga ovary. Sa antas ng cellular, ang micro- at nanoplastics ay maaaring makapinsala sa DNA, makagambala sa paghahati ng selula at maging sanhi ng pamamaga. Ang kanilang pagkagambala sa regulasyon ng hormonal, pagkagambala sa pag-andar ng placental, mga epekto sa angiogenesis at isang link sa pag-unlad ng uterine fibroids ay ipinakita.

Erectile dysfunction

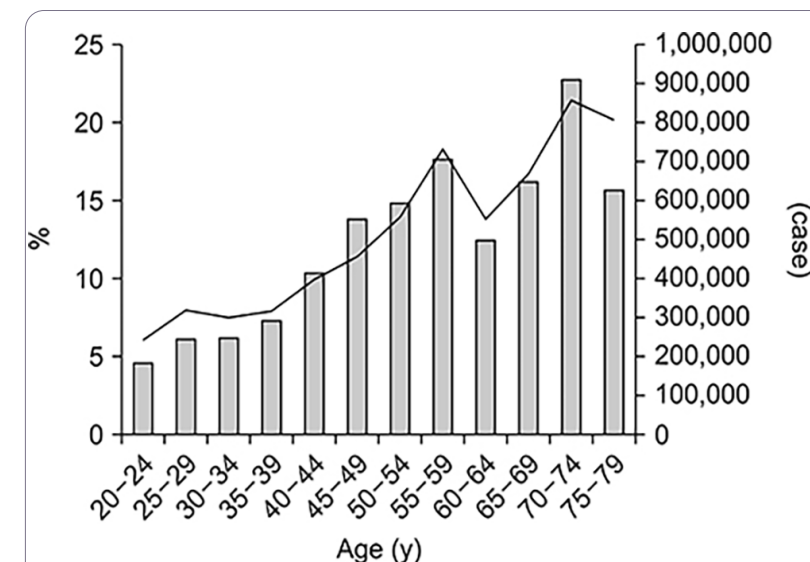
Ang mga resulta ng isang pambansang survey sa Japan ay nagpakita na ang erectile function at sekswal na aktibidad ay bumababa sa mga nakababatang henerasyon²⁹⁰. Ang EHS-based na pagtatasa ay natagpuan ang isang Paglaganap ng ED na 30.9%, na nakakaapekto sa humigit-kumulang 14 na milyong mga lalaki, at ang sekswal na pagnanais, paninigas ng paninigas, orgasms, at kasiyahan ay mas mababa kaysa sa inaasahan sa mga batang Japanese na 2 taong gulang, kahit na mas mababa kaysa sa inaasahan sa mga batang Japanese na 2 taong gulang, lalo na sa mga 2 taong gulang na Japanese. Iumalala sa edad. Sa katunayan, ang prevalence rate sa 20-24 na pangkat ng edad ay 26.6%, halos katumbas ng nasa 50-54 na pangkat ng edad (27.8%) (Mga Larawan 106, 107).

²⁸⁹Montano, L. et al. First evidence of microplastics in human ovarian follicular fluid: An emerging threat to female fertility. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 291, 117868 (2025). <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2025.117868>

²⁹⁰Tsujimura, A. et al. Erectile Function and Sexual Activity Are Declining in the Younger Generation: Results from a National Survey in Japan. *The World Journal of Men's Health* 43, 239–248 (2025). <https://doi.org/10.5534/wjmh.240137>

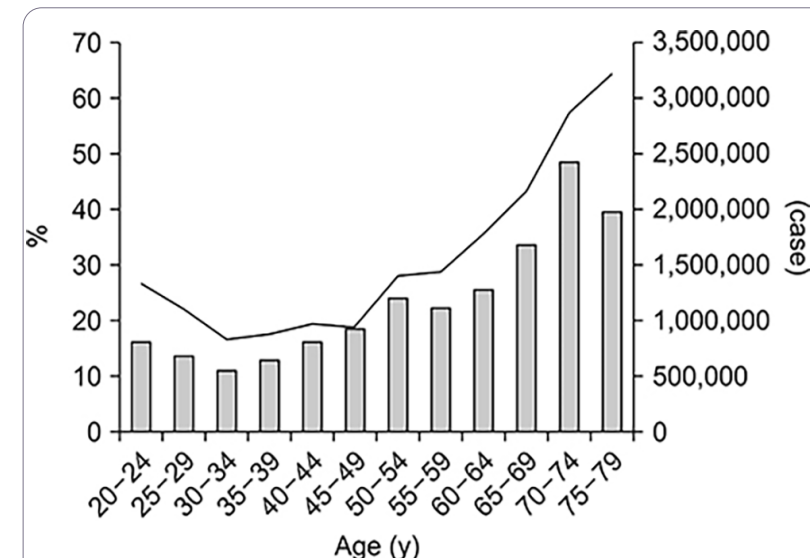
Bilang karagdagan, ang isa pang pag-aaral na isinagawa sa buong mundo ay nag-ulat na tatlong-kapat ng mga lalaki ay may mga sintomas ng ED, na nagpapahiwatig na ang ED ay hindi pangkaraniwan at maaaring makaapekto sa sinumang tao. Ang unang opisyal na pambansang survey sa sekswal na function sa Japan na isinagawa noong 1998 ay tinatantya na mayroong humigit-kumulang 11.3 milyong mga pasyente na may katamtaman hanggang malubhang ED. Bilang karagdagan, ang mga pambansang survey sa pagkabaog ng lalaki sa Japan na isinagawa noong 1996 at 2015 ay nagsiwalat ng kapansin-pansing data. Sa survey noong 2015, 13.5% ng mga lalaki ang nakaranas ng kawalan ng katabaan ng lalaki dahil sa ED bilang pinagbabatayan, na halos apat na beses ang rate noong 1996.

Ang kabuuan ng modernong siyentipikong data ay nagpapahiwatig na ang micro- at nanoplastics sa katawan ay isa sa mga nakatagong ngunit makabuluhang sanhi ng pagkasira ng kalusugan ng reproduktibo. Ang mga particle na ito ay tumagos sa maselang bahagi ng katawan, nakakagambala sa mitochondrial function, nagdudulot ng pamamaga, mga pagkagambala sa hormonal at pagkasira ng DNA, at binabawasan ang sperm motility at morphological na kalidad. Ang mga ito ay matatagpuan sa semen at follicular fluid, na nagpapahiwatig na nalampasan nila ang mga biological na hadlang at may malalim na sistematikong epekto. Ang lahat ng ito ay nagdudulot ng banta hindi lamang sa indibidwal na kalusugan, kundi pati na rin sa kinabukasan ng kapasidad ng reproduktibo ng tao sa kabuuan.



Larawan 106. Paglaganap at bilang ng mga pasyente na may erectile dysfunction na tinatantya ng paglaganap ng erectile dysfunction (ED) na kinakalkula mula sa tanong na “Nakakaistorbo ka ba sa ED?”

Pinagmulan: Tsujimura, A. et al. Ang Erectile Function at Sekswal na Aktibidad ay Bumababa sa Nakababatang Henerasyon: Mga Resulta mula sa isang Pambansang Survey sa Japan. *Ang World Journal ng kalusugan ng kalalakihan* 43, 239–248 (2025). <https://doi.org/10.5534/wjmh.240137>



Larawan 107. Graph na nagpapakita ng paglaganap at bilang ng mga pasyente na may erectile dysfunction ayon sa pagtatasa ng erectile hardness scale.

Pinagmulan: Tsujimura, A. et al. Ang Erectile Function at Sekswal na Aktibidad ay Bumababa sa Nakababatang Henerasyon: Mga Resulta mula sa isang National Survey sa Japan. *Ang World Journal ng kalusugan ng kalalakihan* 43, 239–248 (2025). <https://doi.org/10.5534/wjmh.240137>

Pagpasok ng mga MNP sa pamamagitan ng placental barrier at ang epekto nito sa pagbuo ng organismo

Epekto ng Prenatal ng micro- at nanoplastics sa fetus

Ang mga buntis na kababaihan ay partikular na mahina sa mga epekto ng microplastics²⁹¹. Sa pamamagitan ng pagtagos sa katawan ng ina, ang mga plastik na particle ay maaaring maabot ang fetus sa pamamagitan ng inunan, makagambala sa pagtatago ng mga hormone na kumontrol sa pagbubuntis, at dagdagan ang panganib ng napaaga na kapanganakan, pagkakuha at mga karamdaman sa pag-unlad ng fetus (Larawan 108). Tinatayang 13.4 milyong sanggol (1 sa 10) ang ipinanganak na preterm (<37 linggo) noong 2020, na nananatiling pangunahing sanhi ng pagkamatay ng bata. Ang mga batang nakaligtas ay nasa mas mataas na panganib ng mga malalang sakit at malalang kondisyon²⁹².

Ang pagbuo ng endocrine system ng mga bata ay sobrang sensitibo din sa mga kemikal na nilalaman ng mga plastik, na maaaring gayahin o harangan ang mga hormone²⁹³ (Larawan 109). Ang mga sanggol ay maaaring malantad sa pamamagitan ng gatas ng ina. Bilang karagdagan, ang mga nanoplastics ay maaaring magkaroon ng isang naantala na epekto, na nakakagambala sa pagbuo ng mga selula ng mikrobyo sa pagkabata at pagbibinata at pagbabawas ng pagkamayabong sa pagtanda.

Ang blood-placental barrier (BPB) ay gumaganap ng isang mahalagang papel sa pag-regulate ng metabolismo sa pagitan ng ina at fetus, na pinoprotektahan ito mula sa mga nakakapinsalang sangkap. Gayunpaman, ipinapakita ng mga pag-aaral na ang micro- at nanoplastics ay maaaring tumagos sa BPB.

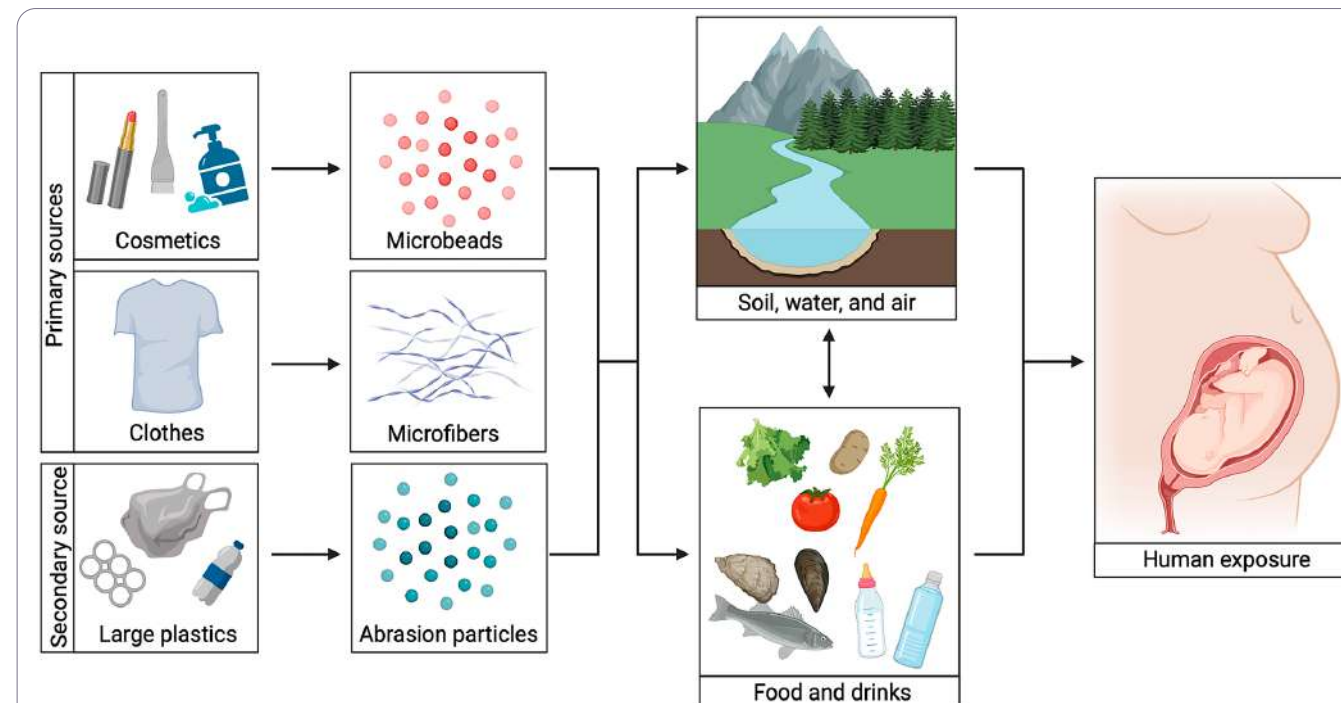
Noong 2020, isang pag-aaral na pinangunahan ni Antonio Ragusa gamit ang Raman microspectroscopy (isang paraan batay sa pagsusuri ng liwanag na nakakalat upang matukoy ang kemikal na komposisyon ng mga materyales) ay natagpuan ang pagkakaroon ng microplastics sa inunan ng apat sa anim na kababaihang may normal na pagbubuntis na napagmasdan. Ang mga sample ay naglalaman ng 12 particle na may sukat na 5–10 μm , kabilang ang polypropylene at mga pigment na ginagamit sa mga kosmetiko, pintura, pandikit, at mga produktong pangkalinisan²⁹⁴.

²⁹¹Dugershaw-Kurzer, B. et al. Nanoparticles Dysregulate the Human Placental Secretome with Consequences on Angiogenesis and Vascularization. *Advanced Science* 11, 2401060 (2024). <https://doi.org/10.1002/advs.202401060>

²⁹²World Health Organization. 1 in 10 babies worldwide are born early, with major impacts on health and survival. (2023) <https://www.who.int/news/item/06-10-2023-1-in-10-babies-worldwide-are-born-early-with-major-impacts-on-health-and-survival> (Accessed May 1, 2025).

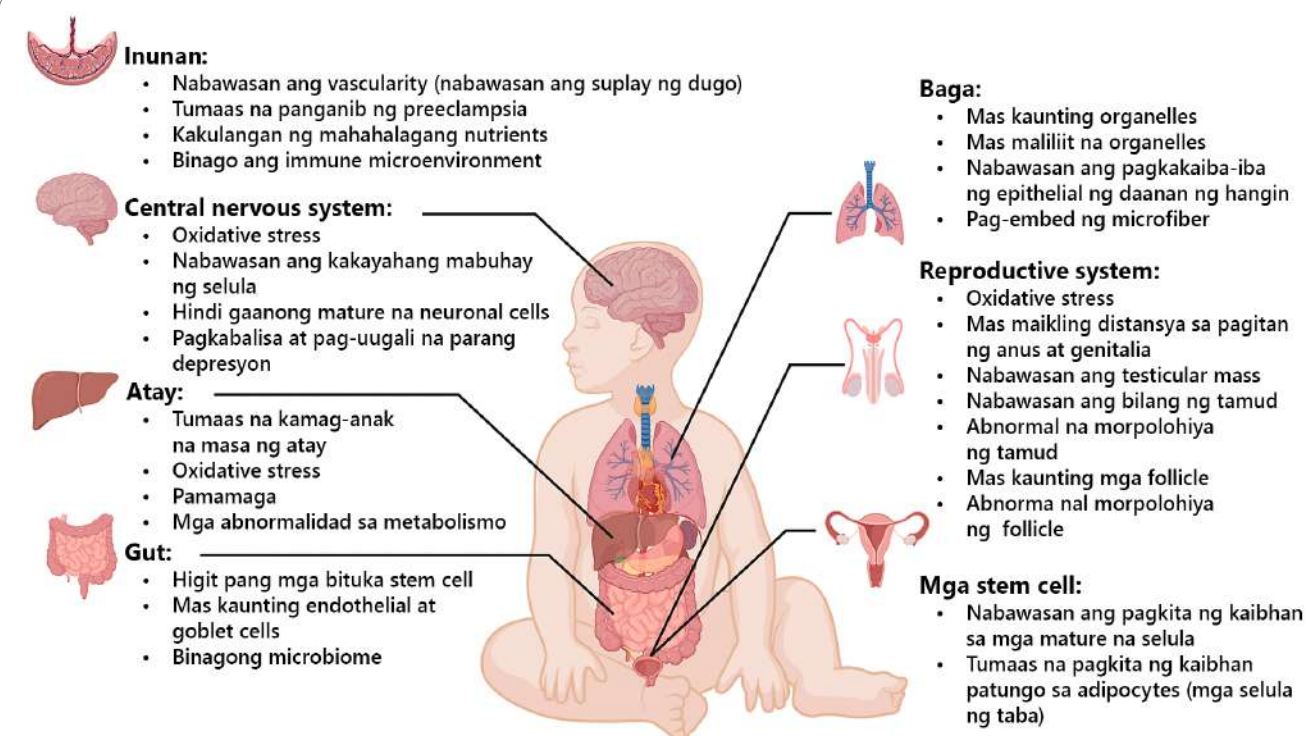
²⁹³Sharma, R. K. et al. Impact of Microplastics on Pregnancy and Fetal Development: A Systematic Review. *Cureus* 16, e60712 (2024). <https://doi.org/10.7759/cureus.60712>

²⁹⁴Ragusa, A. et al. Plasticenta: First evidence of microplastics in human placenta. *Environment International* 146, 106274 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106274>



Larawan 108. Paglunok ng mga MP ng ina.

Pinagmulan: Hofstede, L. T., Vasse, G. F. & Melgert, B. N. Microplastics: Isang banta para sa pagbuo at pag-aayos ng mga organo? *Cambridge Prisms: Plastics* 1, e19 (2023). <https://doi.org/10.1017/plc.2023.19>



Larawan 109. Epekto ng MF sa iba't ibang organs at tissues ng pagbuo ng fetus.

Pinagmulan: Hofstede, L. T., Vasse, G. F. & Melgert, B. N. Microplastics: Isang banta para sa pagbuo at pag-aayos ng mga organo? *Cambridge Prisms: Plastics* 1, e19 (2023). <https://doi.org/10.1017/plc.2023.19>

Natuklasan ng isang pag-aaral na isinagawa ng Unibersidad ng New Mexico na ang konsentrasyon ng microplastics at nanoplastics sa mga inunan ng mga premature na sanggol ay mas mataas kaysa sa mga buong panahon na sanggol. Nalaman ng pagsusuri sa 158 na placentas gamit ang mass spectrometry na ang mga babaeng nanganak nang maaga ay may mas mataas na akumulasyon ng mga plastic particle²⁹⁵.



“Ang mga nanoparticle ay lumilitaw na may hindi direktang epekto sa fetus sa sinapupunan sa pamamagitan ng pagpigil sa pagbuo ng mga daluyan ng dugo sa pamamagitan ng mga sangkap ng mensahero,” sabi ng biologist na si Tina Bürki²⁹⁶.

Ang mga nanosized na polystyrene particle ay maaaring magdulot ng mga karamdaman sa pag-unlad ng utak ng pangsanggol, lalo na ang mga kakulangan sa pag-iisip²⁹⁷.

Ipinakita ng mga pag-aaral na ang pagkakalantad sa MF sa panahon ng pagbubuntis at mga unang buwan ng buhay ay maaaring humantong sa hindi maibabalik na mga pagbabago sa reproductive at Gitnang sistema ng nerbiyos sa mga supling ng iba't ibang uri²⁹⁸.

Pagkakalantad sa postnatal ng mga sanggol sa micro- at nanoplastics

Ang mga bagong silang ay nakalantad sa patuloy na daloy ng microplastics mula sa kapaligiran.

Ayon sa isang 2020 na pag-aaral²⁹⁹, ang mga sanggol ay makakain ng hanggang 4.5 milyong plastic na particle bawat araw mula lamang sa pagpapakain mula sa mga bote ng polypropylene. Ito ang karamihan sa lahat ng mga bote ng sanggol na ginagamit sa buong mundo.

Ang mga sanggol ay maaari ring kumain ng microplastics sa pamamagitan ng gatas ng kanilang ina. Noong 2022, ang pagsusuri ng gatas ng ina mula sa 34 na malulusog na kababaihan ay nakakita ng microplastics sa 76% ng mga sample na³⁰⁰ (Larawan 110). Ang microplastics ay maaaring magkaroon ng isang naantala na epekto, nakakagambala sa pagbuo ng mga selula ng mikrobyo sa pagkabata at pagbibinata at pagbabawas ng pagkamayabong sa pagtanda.

²⁹⁵Jochum, M. et al. Elevated Micro- and Nanoplastics Detected in Preterm Human Placentae. Preprint (2025). <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-5903715/v1>

²⁹⁶Federal Office of Public Health. Impact of pollution on embryonic development - Nanoparticles: Risk for babies in the womb. FOPH. (2024).

<https://www.bjti.admin.ch/en/nsb?id=101285> (Accessed May 1, 2025).

²⁹⁷Jeong, B. et al. Maternal exposure to polystyrene nanoplastics causes brain abnormalities in progeny. Journal of Hazardous Materials 426, 127815 (2022).

<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127815>

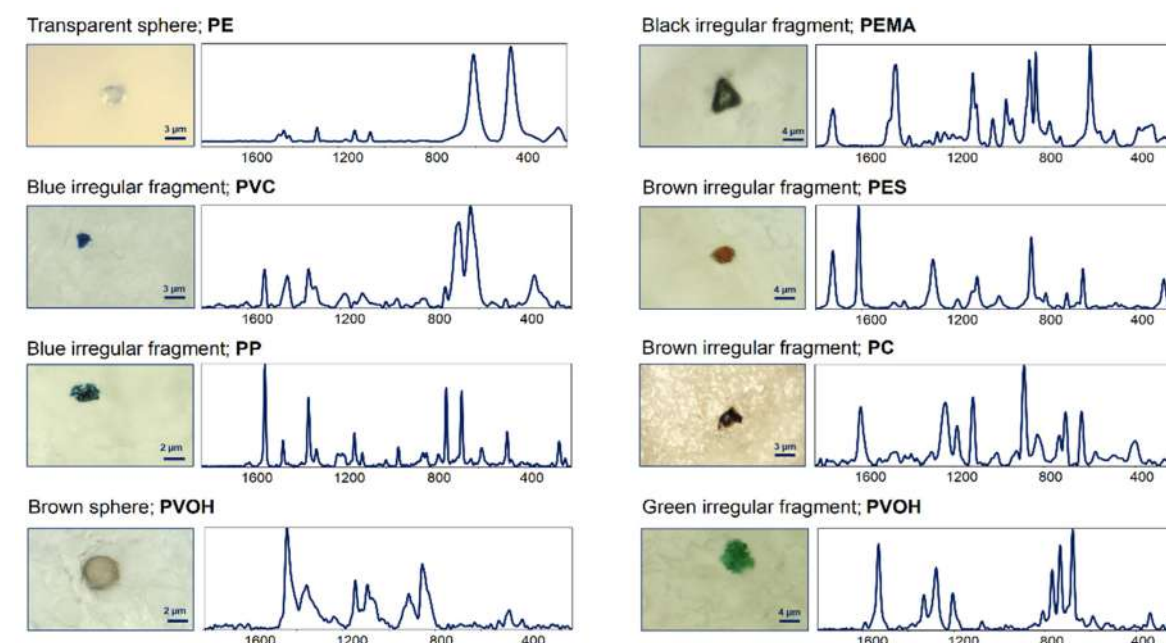
²⁹⁸Sharma, R. K. et al. Impact of Microplastics on Pregnancy and Fetal Development: A Systematic Review. Cureus 16, e60712 (2024).

<https://doi.org/10.7759/cureus.60712>

²⁹⁹Li, D., Shi, Y., Yang, L. et al. Microplastic release from the degradation of polypropylene feeding bottles during infant formula preparation. Nat Food 1, 746–754 (2020). <https://doi.org/10.1038/s43016-020-00171-y>

³⁰⁰Ragusa, A. et al. Raman Microspectroscopy Detection and Characterisation of Microplastics in Human Breastmilk. Polymers 14, 2700 (2022).

<https://doi.org/10.3390/polym14132700>



Larawan 110. Micrographs at Raman spectra (wavenumbers, cm⁻¹) ng ilang napiling MP na nakita sa nasuri na mga sample ng gatas ng ina. PE: polyethylene; PVC: polyvinyl chloride; PP: polypropylene; PVA: polyvinyl alcohol; PEVA: poly(ethylene-co-vinyl acetate); PEMA: poly(ethyl methacrylate); PES: polyester at PC: polycarbonate.

Pinagmulan: Ragusa, A. et al. Raman Microspectroscopy Detection at Paglalarawan ng Microplastics sa Gatas Ng Tao. Polymers 14, 2700 (2022). <https://doi.org/10.3390/polym14132700>

Ipinapakita ng karagdagang data na ang mga antas ng BNP sa dumi ng sanggol ay 14 na beses na mas mataas kaysa sa mga nasa hustong gulang³⁰¹.

Ang mga nanoplastics at mga kaugnay na kemikal ay nakakagambala sa mga molekular na istruktura at pag-andar ng gatas ng ina. Maaaring baguhin ng mga compound na ito ang mga protina na matatagpuan sa gatas ng suso ng tao at formula ng sanggol, na maaaring humantong sa mga problema sa pag-unlad sa bandang huli ng buhay^{302, 303}.

Ang mataas na konsentrasyon ng BNP ay may pinagsama-samang nakakalason na epekto sa pagbuo ng organismo. Ang mga nanoplastics, na tumatagos sa mga selula, ay maaaring magdulot ng pinsala sa istruktura sa DNA at makagambala sa mga proseso ng metabolic. Ang mga epektong ito ay nagpapataas ng mga panganib ng genetic mutations at pangmatagalang mga Patolohiya, na nagdudulot ng banta sa kalusugan ng mga susunod na henerasyon.

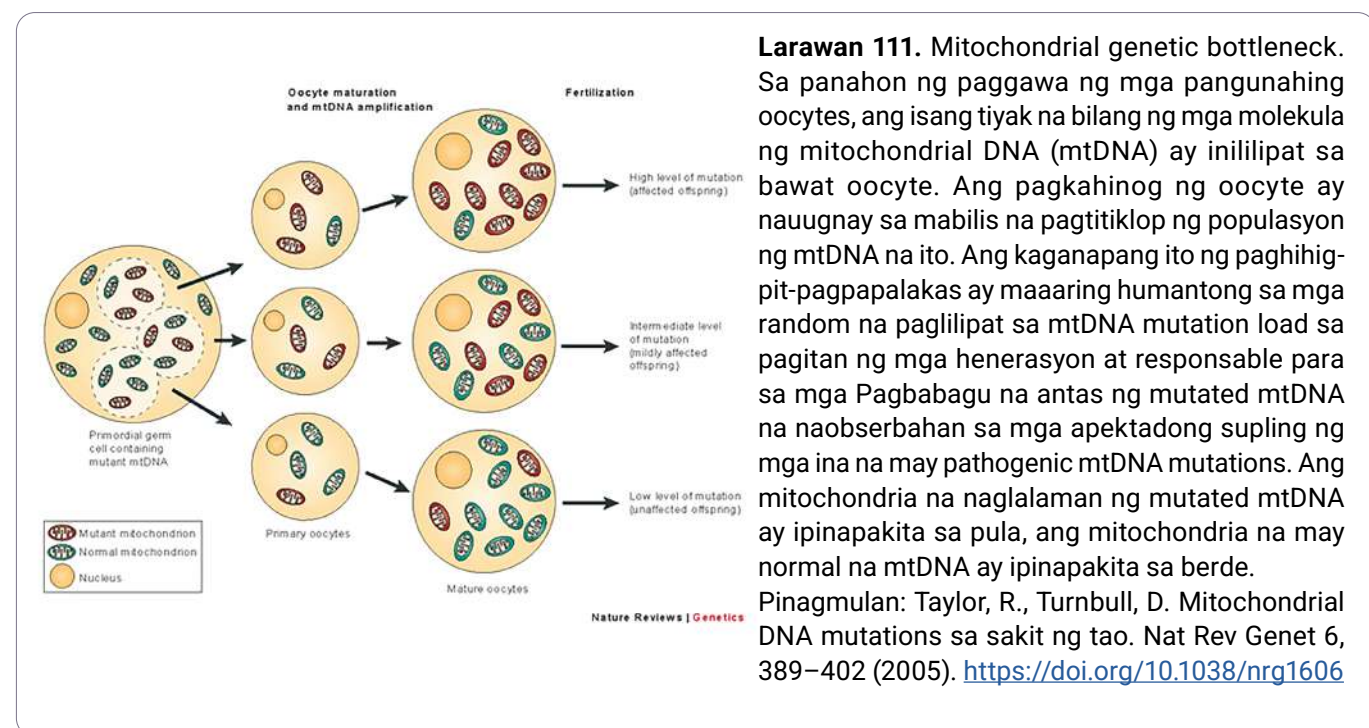
³⁰¹Zhang, J., Wang, L., Trasande, L. & Kannan, K. Occurrence of Polyethylene Terephthalate and Polycarbonate Microplastics in Infant and Adult Feces. Environ. Sci. Technol. Lett. 8, 989–994 (2021). <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.1c00559>

³⁰²Yadav, A., Vuković, L. & Narayan, M. An Atomic and Molecular Insight into How PFOA Reduces α -Helicity, Compromises Substrate Binding, and Creates Binding Pockets in a Model Globular Protein. J. Am. Chem. Soc. 146, 12766–12777 (2024). <https://doi.org/10.1021/jacs.4c02934>

³⁰³Karim, A. et al. Interfacial Interactions between Nanoplastics and Biological Systems: toward an Atomic and Molecular Understanding of Plastics-Driven Biological Dyshomeostasis. ACS Appl. Mater. Interfaces 16, 25740–25756 (2024). <https://doi.org/10.1021/acsami.4c03008>

Mga kahihinatnan ng pagkakalantad ng BNP at ang kaugnayan nito sa mga congenital anomalya

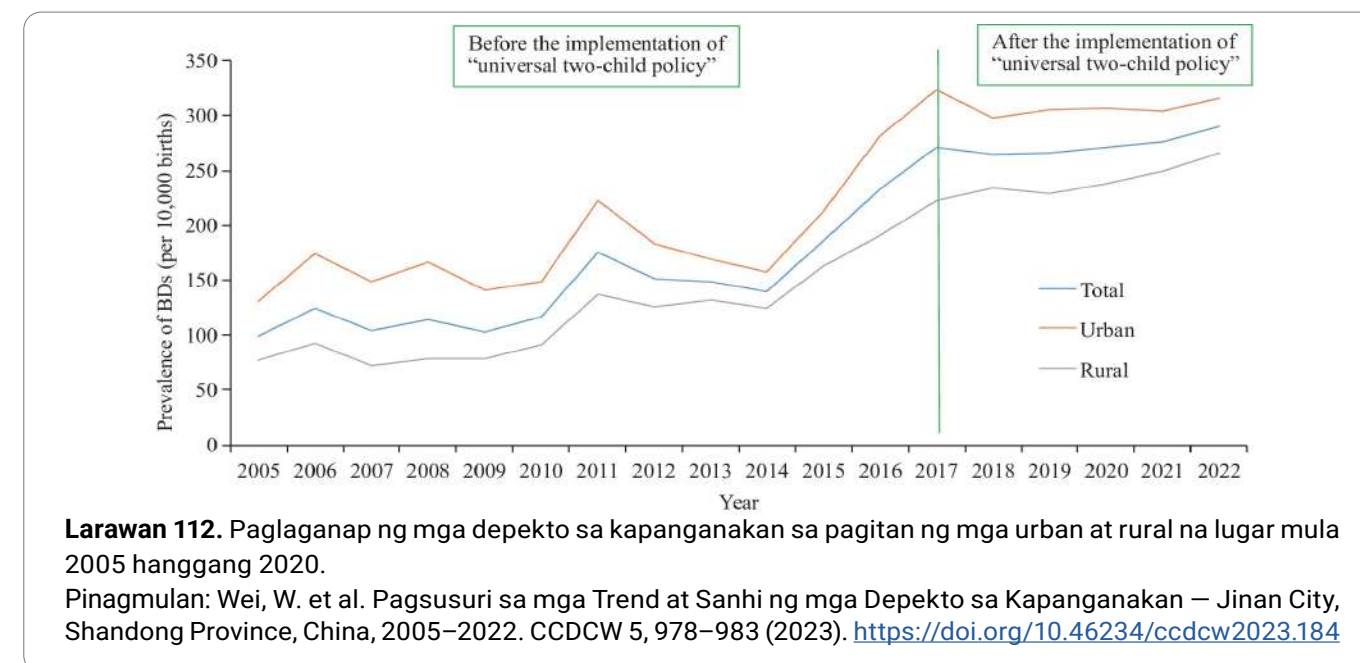
Bilang karagdagan sa pag-aari nito na tumatagos sa mga tisyu at mga selula, ang BNP ay may isa pang mapanganib na kakayahan - na maipasa “sa pamamagitan ng mana” sa mga susunod na henerasyon. Sa panahon ng paghahati ng cell, ang mga fragment ng micro- at nanoplastics ay dumadaan mula sa cell patungo sa cell. Sa iba pang mga bagay, dahil sa kanilang maliit na sukat at pagkakaroon ng isang static na singil sa kuryente, madali nilang nalampasan ang hematomplacental barrier at tumagos sa mga tisyu at mga selula ng fetus, na naglalabas ng kanilang masamang epekto sa pagbuo ng organismo. At una sa lahat, tulad ng paulit-ulit na binibigyang diin sa ulat, ang micro- at nanoplastics ay humantong sa mitochondrial dysfunction. Ang isang kamakailang Mendelian na randomized na pagsubok ay nagbigay ng nakakumbinsi na katibayan ng isang sanhi ng relasyon sa pagitan ng pagpapahayag ng mitochondrial protein at ang panganib ng congenital anomalya. Ang pag-aaral ay gumamit ng mga genetic na variant bilang instrumental na mga pabagu-bago upang mabawasan ang mga bias na katangian ng data ng pagmamasid. Sa 66 mitochondrial protein traits, ang mga makabuluhang asosasyon ay natagpuan na may mga depekto sa puso, tainga, nervous system, genitourinary system, at limbs. Kinukumpirma nito ang hypothesis ng isang pangunahing papel ng aktibidad ng mitochondrial sa embryonic morphogenesis³⁰⁴. Ang mga mutasyon ng Mitochondrial DNA (mtDNA), parehong minana at de novo, ay nagdudulot ng malawak na hanay ng mga klinikal na sindrom: MELAS, MERRF, NARP, Leigh syndrome, atbp. Pangunahing nakakaapekto ang mga ito sa mga organo na may mataas na pagkonsumo ng enerhiya - ang puso, utak, kalamnan, mata. Ang paghahatid ay nangyayari lamang sa pamamagitan ng linya ng ina, na dahil sa mitochondrial na pinagmulan ng oocyte (Larawan 111). Ang ganitong mga karamdaman ay madalas na nagpapakita ng kanilang sarili sa isang maagang edad at nailalarawan sa pamamagitan ng malubhang neurological at metabolic disorder.



³⁰⁴Li, X. et al. Mitochondrial proteins and congenital birth defect risk: a mendelian randomization study. *BMC Pregnancy Childbirth* 25, 444 (2025). <https://doi.org/10.1186/s12884-025-07562-8>

Ang mga batang may mitochondrial disorder ay kadalasang nakakaranas ng mga pagkaantala sa pag-unlad, panghihina ng kalamnan, kapansanan sa pag-iisip, at kapansanan sa koordinasyon. Ang Kearns-Sayre syndrome, Barth syndrome, Alpers disease, at iba pang mga sakit ay maaaring humantong sa malubhang kahihinatnan, kabilang ang kapansanan o kamatayan.

Sa nakalipas na dalawang dekada, naitala ng mga doktor ang nakababahala na pagtaas ng congenital malformations sa mga bagong silang. Sa China lamang, ang insidente ng naturang mga depekto ay tumaas ng halos tatlong beses — mula 99.15 sa bawat 10,000 kapanganakan noong 2005 hanggang 290.27 sa bawat 10,000 noong 2022³⁰⁵ (Larawan 112). Ang mga katulad na dinamika ay sinusunod sa ibang mga bansa. Ang mga dahilan para sa pag-akyat na ito ay multifactorial, ngunit ang lumalaking katawan ng siyentipikong ebidensya ay tumuturo sa isang bago, mabilis na lumalagong banta: microplastics at lalo na nanoplastics na maaaring tumagos sa mga embryonic tissue at makagambala sa pagbuo ng mga organo at system.



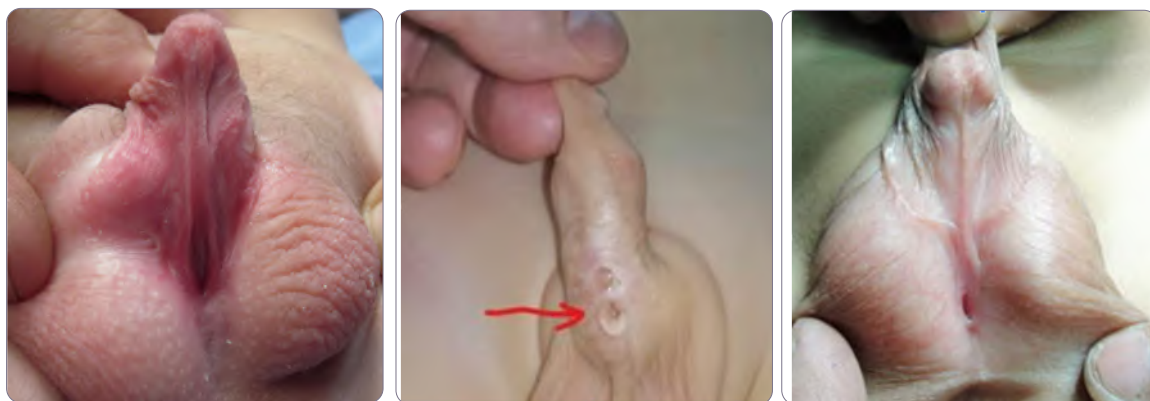
Ang electrostatic charge na dala ng nanoplastics ay lalong mapanganib sa mga embryonic tissues, kung saan ang bawat pagkakamali ay isang potensyal na anomalya. Ang ganitong mga particle ay nagpapakita ng mas mataas na pagdirikit sa mga ibabaw ng Selula, kabilang ang mga selula ng neural crest, na mga kritikal na kalahok sa pagbuo ng puso, mga daluyan ng dugo, at mga istruktura ng craniofacial. Sa isang eksperimento sa mga embryo ng manok, ang mga nanoplastics ay nagdulot ng malubhang mga depekto, kabilang ang mga depekto ng puso at malalaking sisidlan. Ang isa sa pinakamabilis na pagkalat ng anomalya ay gastroschisis, isang malformation ng panloob na dingding ng tiyan, kung saan ang mga fetal organ ay nakausli sa pamamagitan ng depekto sa balat at mga kalamnan (Mga Larawan 113, 114, 115). Ayon sa internasyonal na data, ang pagkalat nito ay tumaas ng 161% sa nakalipas na tatlong dekada, at sa mga ina na wala pang 20 taong gulang, ito ay tumaas ng ilang-tiklop na³⁰⁶. Ito ay pinaniniwalaan na ang nanoplastics ay nakakasagabal sa pag-unlad ng dingding ng tiyan sa maagang pagbubuntis (4-8 na linggo), na nagiging sanhi ng pamamaga at pagkabigo na isara ang harap ng katawan.

³⁰⁵Wei, W. et al. Analyzing the Trends and Causes of Birth Defects — Jinan City, Shandong Province, China, 2005–2022. *CCDCW* 5, 978–983 (2023). <https://doi.org/10.46234/ccdcw2023.184>

³⁰⁶Feldkamp, M. L. et al. Gastroschisis prevalence patterns in 27 surveillance programs from 24 countries, International Clearinghouse for Birth Defects Surveillance and Research, 1980–2017. *Birth Defects Research* 116, e2306 (2024). <https://doi.org/10.1002/bdr2.2306>

**Larawan 113-115. Gastroschisis**

Ang isa pang depekto, hypospadias, isang anomalya kung saan bumubukas ang urethra sa maling lugar sa mga lalaki³⁰⁷, ay nagpapakita rin ng tuluy-tuloy na pagtaas (Mga Larawan 116, 117, 118). Halimbawa, sa United States mula 1997 hanggang 2018, ang dami ng pagtaas sa mga kaso ay humigit-kumulang 1.06 sa bawat 1000 live na panganganak ng mga lalaki (mula 6.1 hanggang 7.16 bawat 1000), at ang porsyento ng pagtaas ay umabot sa humigit-kumulang 17%³⁰⁸. Ipinakita ng mga pag-aaral sa mga modelo ng hayop na ang pagkakalantad sa mga phthalates, na karaniwang matatagpuan sa microplastics, ay nakakagambala sa synthesis ng testosterone sa mga fetus ng lalaki.

**Larawan 116-118. Hypospadias**

Ang mga sangkap na ito, na nakalagay sa naka-charge na ibabaw ng nanoplastic, ay madaling inilipat sa daluyan ng dugo at inunan, na nagpapahusay ng mga pagbabago sa hormonal sa mga kritikal na panahon ng pagkakaiba-iba ng sekswal. Laban sa background na ito, ang pagtaas sa saklaw ng Down syndrome, trisomy, atrioventricular heart defects at iba pang malubhang karamdaman ay naitala mula 12.78 bawat 10,000 live birth noong 1999-2001 hanggang 15.55 bawat 10,000 noong 2016-2020³⁰⁹.

Kasabay nito, ang pagtaas ng mga problema sa psychoneurological sa mga bata ay sinusunod, kabilang ang mga karamdaman sa pagkabalisa at mga kakulangan sa pag-iisip. Bagama't pinag-aaralan pa rin ang direktang sanhi ng kaugnayan sa microplastics, ang mga kilalang mekanismo - pamamaga, epigenetic modulation, mitochondrial dysfunction - ay nagbibigay ng dahilan upang maghinala ito bilang isa sa mga kadahilanan^{307, 310}.

³⁰⁷Chen, M. J., Karaviti, L. P., Roth, D. R. & Schlomer, B. J. Birth prevalence of hypospadias and hypospadias risk factors in newborn males in the United States from 1997 to 2012. *Journal of Pediatric Urology* 14, 425.e1-425.e7 (2018). <https://doi.org/10.1016/j.jpuro.2018.08.024>

³⁰⁸Stallings, E. B. et al. National population-based estimates for major birth defects, 2016–2020. *Birth Defects Research* 116, e2301 (2024). <https://doi.org/10.1002/bdr2.2301>

³⁰⁹Zhang, Y., Wang, J., Yang, H. & Guan, Y. The potential mechanisms underlying phthalate-induced hypospadias: a systematic review of rodent model studies. *Front. Endocrinol.* 15, (2024). <https://doi.org/10.3389/fendo.2024.1490011>

³¹⁰Chen, M. J., Karaviti, L. P., Roth, D. R. & Schlomer, B. J. Birth prevalence of hypospadias and hypospadias risk factors in newborn males in the United States from 1997 to 2012. *Journal of Pediatric Urology* 14, 425.e1-425.e7 (2018). <https://doi.org/10.1016/j.jpuro.2018.08.024>

Konklusyon at Pananaw.

Posible bang Bawasan ang Epekto ng mga MNP sa Kalusugan ng Tao

Ang pagtatasa ng pinagsama-samang data ay nagpapakita na ang micro- at nanoplastics ay kumakatawan sa isang makabuluhan at Minaliit ang panganib na kadahilanan para sa kalusugan ng tao. Ang kasalukuyang siyentipikong ebidensya ay mariing nagmumungkahi na ang micro- at nanoplastics ay isang mahalagang bahagi ng pandaigdigang nakakalason na pasanin sa katawan ng tao. Dahil sa kanilang kakayahang tumawid sa mga biological na hadlang at maipon sa iba't ibang mga tisyu, kabilang ang utak, puso, baga, at inunan, ang mga MNP ay nagdudulot ng mga nakakalason na epekto sa mga antas ng molekular, cellular, at systemic. Kapag isinama sa mga chemical additives at adsorbed environmental pollutants, ang plastic ay nagiging salik na maaaring magdulot ng talamak na pamamaga, oxidative stress, mitochondrial dysfunction, at DNA mutations — mga prosesong pinagbabatayan ng malawak na hanay ng mga sakit, kabilang ang neurodegenerative, oncological, cardiovascular, endocrine, at autoimmune disorder. Ang partikular na nakababahala ay ang katotohanan na ang mga particle ng BNP ay halos hindi naalis mula sa katawan, na naipon sa edad at nagpapalala sa pinagsama-samang epekto ng kanilang epekto.

Kinumpirma ng modernong data na imposibleng maiwasan ang pakikipag-ugnay sa BNP: naroroon ito sa hangin, tubig, pagkain, at maging sa loob ng mga selula ng mga hayop at halaman na ating kinakain. Kaya, ang pagkakalantad sa mga plastik na particle ay nagiging ubiquitous at tuloy-tuloy - mula sa intrauterine development hanggang sa huling bahagi ng buhay. Partikular na mapanganib ang ruta ng paglanghap ng pagpasok, kung saan ang mga nanopartikel, na lumalampas sa hadlang ng dugo-utak, ay direktang tumagos sa tisyu ng utak, na ginagawang isa ang gitnang sistema ng nerbiyos sa mga pinaka-mahina na target.

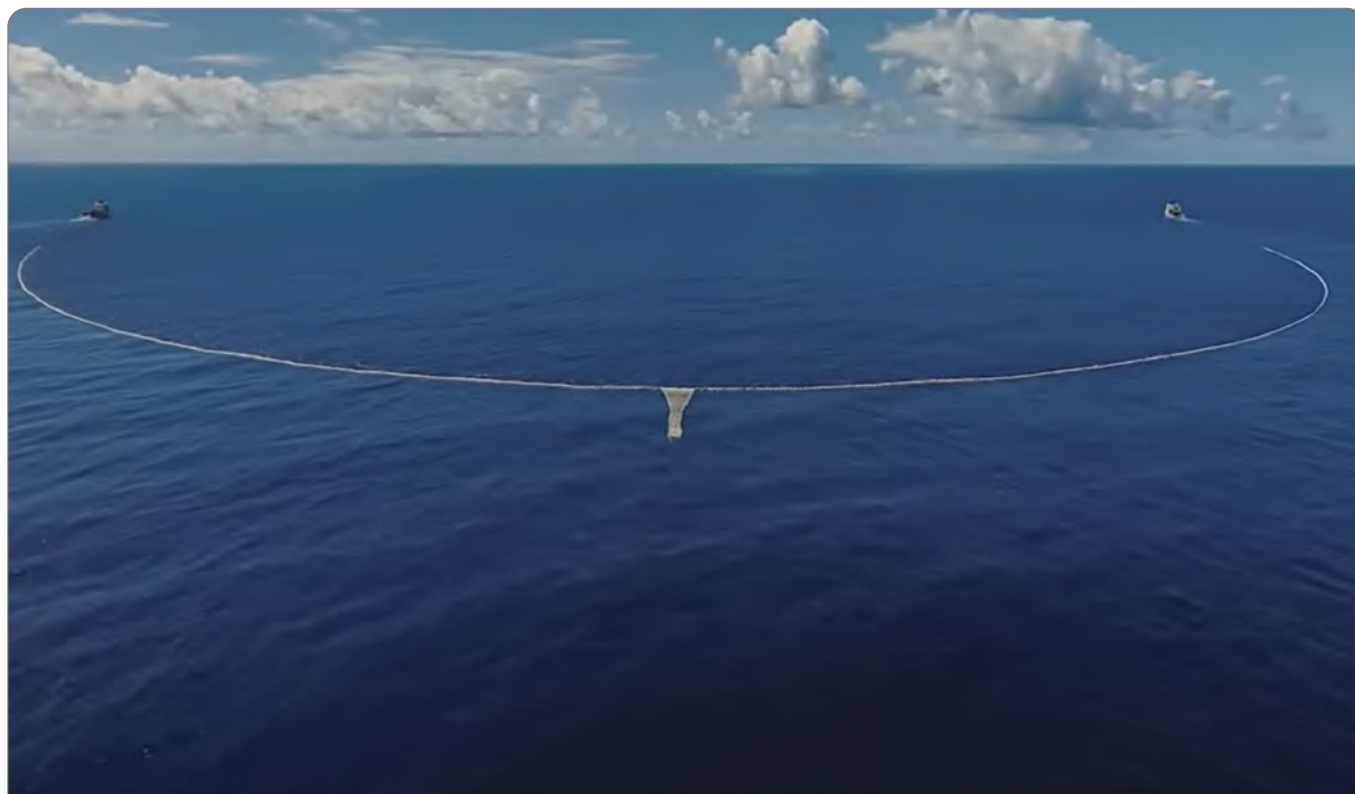
Ang karagdagang biyolohikal na panganib ay sanhi ng electrostatic na aktibidad ng mga particle ng MNP, na pinahuhusay ang kanilang pakikipag-ugnayan sa mga biyolohikal na istruktura at nag-aambag sa pagkagambala ng homeostasis. Ang kanilang potensyal na papel sa paglipat ng mga pathogen at mga mikroorganismo na lumalaban sa antibiotic ay nabanggit din, na nagbibigay sa problema ng kontaminasyon sa micro- at nanoplastics isang interdisciplinary na kalikasan, na nakakaapekto sa ekolohiya, toksikolohiya, immunology, neurology at reproductive medicine. Kaugnay nito, bilang bahagi ng diskarte upang kontrahin ang banta ng MNP, isa sa mga estratehikong lugar na iminungkahi ng ALLATRA ay ang pagbuo ng mga pamamaraan para sa pag-neutralize o pagprotekta sa electrostatic charge ng nanoplastics. Ang pagbabawas ng electrostatic na aktibidad ng naturang mga particle ay maaaring makabuluhang bawasan ang kanilang pinsala at pabagalin ang kanilang akumulasyon sa katawan. Ayon sa mga may-akda ng ulat, ang mga paraan ng pagprotekta o pag-neutralize sa singil ay maaaring mabawasan ang potensyal na panganib na nauugnay sa MNP ng hindi bababa sa 50%. Nagbibigay-daan ito sa iyo na makakuha ng oras na kailangan para bumuo ng mas komprehensibong mga diskarte para sa diagnosis, pag-iwas, at pag-alis ng MNP mula sa katawan. Sa kontekstong ito, ang karagdagang pananaliksik sa mga larangan ng biophysics, nanotechnology at molecular toxicology ay partikular na kahalagahan.

Sa kabila ng dumaraming bilang ng mga siyentipikong publikasyon sa paksang ito, ang epekto ng mga MNP sa kalusugan ng tao ay nananatiling hindi sapat na pinag-aralan at hindi gaanong isinasaalang-alang kapag bumubuo ng mga estratehiya sa pangangalaga sa kalusugan at kapaligiran. Dahil sa laki ng plastik na polusyon, ang biological na aktibidad ng mga particle at ang potensyal na hindi maibabalik na mga kahirinatnan ng kanilang epekto, ang lugar na ito ay nangangailangan ng prioridad na atensyon mula sa siyentipikong komunidad at mga awtoridad sa kalusugan, systematization ng data, pagbuo ng mga pamantayan sa pagtatasa ng panganib, pati na rin ang pagpapalawak ng interstate at internasyonal na kooperasyong siyentipiko.

PAGSUSURI NG MGA MAKABAGONG PARAAN UPANG MABAWASAN ANG POLUSYON SA PLASTIK

Mga teknolohiya para sa pag-alis ng malalaking plastic mula sa aquatic ecosystem

Ang mga inisyatiba upang mabawasan ang mga epekto ng polusyon sa karagatan ay pangunahing nakatuon sa pag-alis ng mga nakikitang malalaking debris mula sa ibabaw ng tubig. Sa ngayon, isa sa pinakamalaking proyekto na naglalayong mangolekta ng mga plastik at iba pang uri ng lumulutang na basura ay ang inisyatiba sa paglilinis ng karagatan. Ang kanilang mga lumulutang na sistema ay kumukuha ng mga debris sa ibabaw (Larawan 119), na pagkatapos ay pinagbukud-bukod at nakabalot para sa karagdagang pagproseso o pagtatapon.



Larawan 119. Ipinapakita ng larawan ang teknolohiya ng paglilinis ng karagatan na kumikilos. Ang isang mahabang hugis-U na lumulutang na hadlang na gawa sa matibay na materyal ay nangongolekta ng mga plastik na labi sa ibabaw ng karagatan.

Pinagmulan: Ang paglilinis ng karagatan. Nililinis ang mga plastik na polusyon mula sa mga karagatan.
<https://theoceancleanup.com> (Na-access: 01.05.2025).

Bagama't mukhang maaasahan ang pamamaraang ito, may ilang aspeto na nangangailangan ng pansin:

1. Ang proseso ng pagkolekta ng basura ay hindi pumipili, at ang mga buhay na organismo tulad ng mikroskopikong algae, fish larvae, at dikya ay nakulong kasama ng plastic. Kasalukuyang walang mga dami na pagtatantya ng dami ng nauugnay na huli, ngunit ang potensyal na malakihang pag-alis ng mga organismong ito ay maaaring magkaroon ng negatibong kahihinatnan para sa marine ecosystem, na magdulot ng mga pagkaantala sa mga natural na food chain. Sa kabila ng mga hakbang na ginawa upang matiyak ang kaligtasan ng buhay sa dagat, ang problema ay nananatiling hindi nalutas.

2. Ang mga aktibista ay taos-pusong nagsisikap na linisin ang karagatan, ngunit ang mga pagsisikap na ginawa ay hindi sapat upang makamit ang mga makabuluhang resulta.

Noong Nobyembre 2024, inalis ng ang inisyatiba sa paglilinis ng karagatan ang humigit-kumulang 20,000 tonelada ng mga basurang plastik mula sa mga karagatan sa mundo. Ito ay tiyak na isang makabuluhang resulta. Gayunpaman, sa konteksto ng pandaigdigang problema, ito ay kumakatawan lamang sa 0.01% ng kabuuang dami ng basurang plastik sa karagatan, na tinatayang nasa humigit-kumulang 200 milyong tonelada. Kasama rin dito ang pagdagsa ng mga bagong basura, na umaabot sa humigit-kumulang 11 milyong tonelada taun-taon (Larawan 120). Itinatampok ng data na ito ang hindi katimbang na katangian ng mga pagsisikap sa paglilinis sa laki ng problema.



Larawan 120. Inihahambing ng graph ang tatlong pangunahing sukatan na nauugnay sa polusyon ng plastik sa karagatan: ang dami ng mga lumulutang na plastic debris, ang dami ng plastic na itinatapon sa karagatan bawat taon, at ang dami ng plastic na nare-recover ng The Ocean Cleanup.

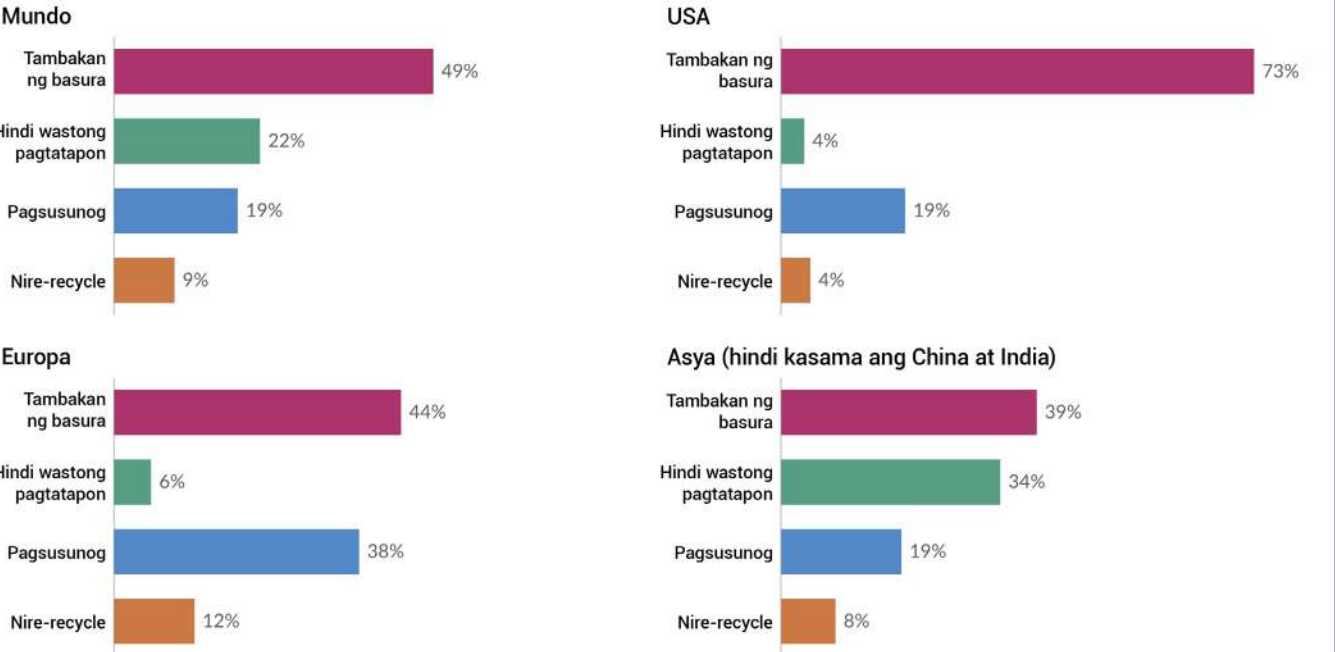
Pinagmulan ng data: The Ocean Cleanup. <https://theoceancleanup.com> (Na-access: 01.05.2025).

3. Ang pangunahing tanong ay nananatiling kung ano ang mangyayari sa nakuhang plastik.

Ang kasalukuyang pandaigdigang mga rate ng pag-recycle para sa mga basurang plastik ay hindi lalampas sa 9% (Larawan 121). Kaugnay nito, may posibilidad na ang isang malaking bahagi ng nakolektang plastik ay maaaring ipadala sa mga landfill, na hindi malulutas ang problema sa polusyon sa mahabang panahon.

Proporsyon ng mga basurang plastik na nire-recycle, itinatapon, sinusunog at hindi wastong itinatapon. 2019

Ang hindi wastong pagtatapon ng mga basurang plastik ay kinabibilangan ng mga materyales na sinusunog sa mga bukas na hukay, itinatapon sa dagat o tubig sa ibabaw, o itinatapon sa mga hindi malinis na tambakan at tambakan ng basura.



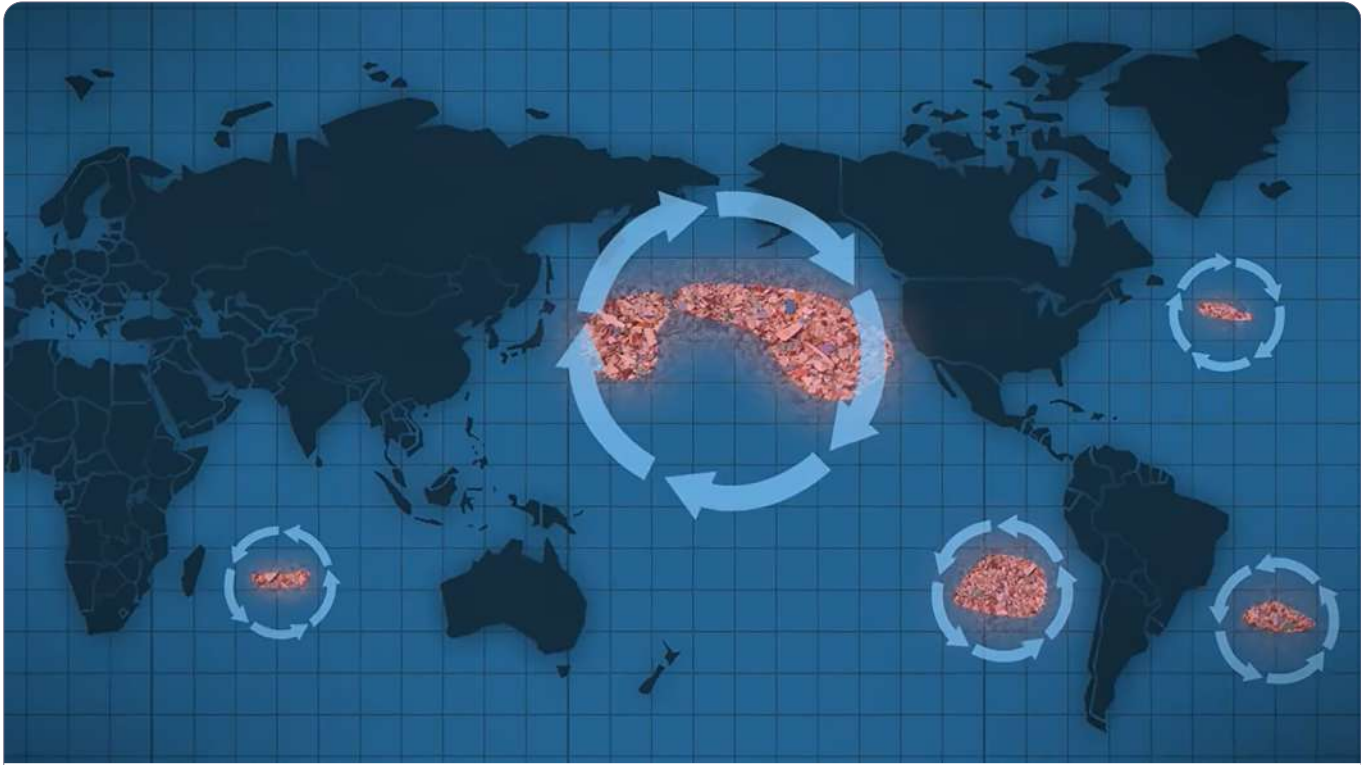
Pinagmulan ng data: OECD (2023) OurWorldinData.org/plastic-pollution | CC BY
Tandaan: Mga panrehiyong pinagsama-samang kinakalkula ng Our World in Data batay sa data na ibinigay ng OECD.

1. OECD regions: The definitions of regions, as stipulated by the OECD, are: - Other OECD America: Chile, Colombia, Costa Rica, Mexico - OECD EU countries : Austria, Belgium, Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, France, Germany Greece, Hungary, Ireland, Italy, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Netherlands, Poland, Portugal, Slovak Republic, Slovenia, Spain, Sweden - OECD Non-EU countries: Iceland, Israel, Norway, Switzerland, Turkey, United Kingdom - OECD Oceania: Australia, New Zealand - OECD Asia: Japan, Korea - Latin America: Non-OECD Latin American and Caribbean countries - Other EU: Bulgaria, Croatia, Cyprus, Malta, Romania - Other Eurasia: Non-OECD European and Caspian countries, including Russian Federation - Middle East & North Africa: Algeria, Bahrain, Egypt, Iraq, Islamic Rep. of Iran, Kuwait, Lebanon, Libya, Morocco, Oman, Qatar, Saudi Arabia, Tunisia, United Arab Emirates, Syrian Arab Rep., Western Sahara, Yemen - Other Africa: Sub-Saharan Africa - China: People's Republic of China, Hong Kong (China) - Other non-OECD Asia: Other non-OECD Asian and Pacific countries

Larawan 121. Proporsyon ng mga basurang plastik na ni-recycle, itinatapon, sinunog, o hindi wastong itinatapon, 2019. Kasama sa hindi wastong pagtatapon ng mga basurang plastik ang mga materyales na sinunog sa mga bukas na hukay, itinatapon sa dagat o tubig sa ibabaw, o itinatapon sa mga hindi malinis na dump at landfill.

Pinagmulan ng data: Mga panrehiyong pinagsama-samang kinakalkula ng Our World in Data batay sa data na ibinigay ng OECD. [OurWorldinData.org/plastic-pollution](https://ourworldindata.org/plastic-pollution) | CC NI
<https://ourworldindata.org/grapher/share-plastic-fate?time=2019..latest>

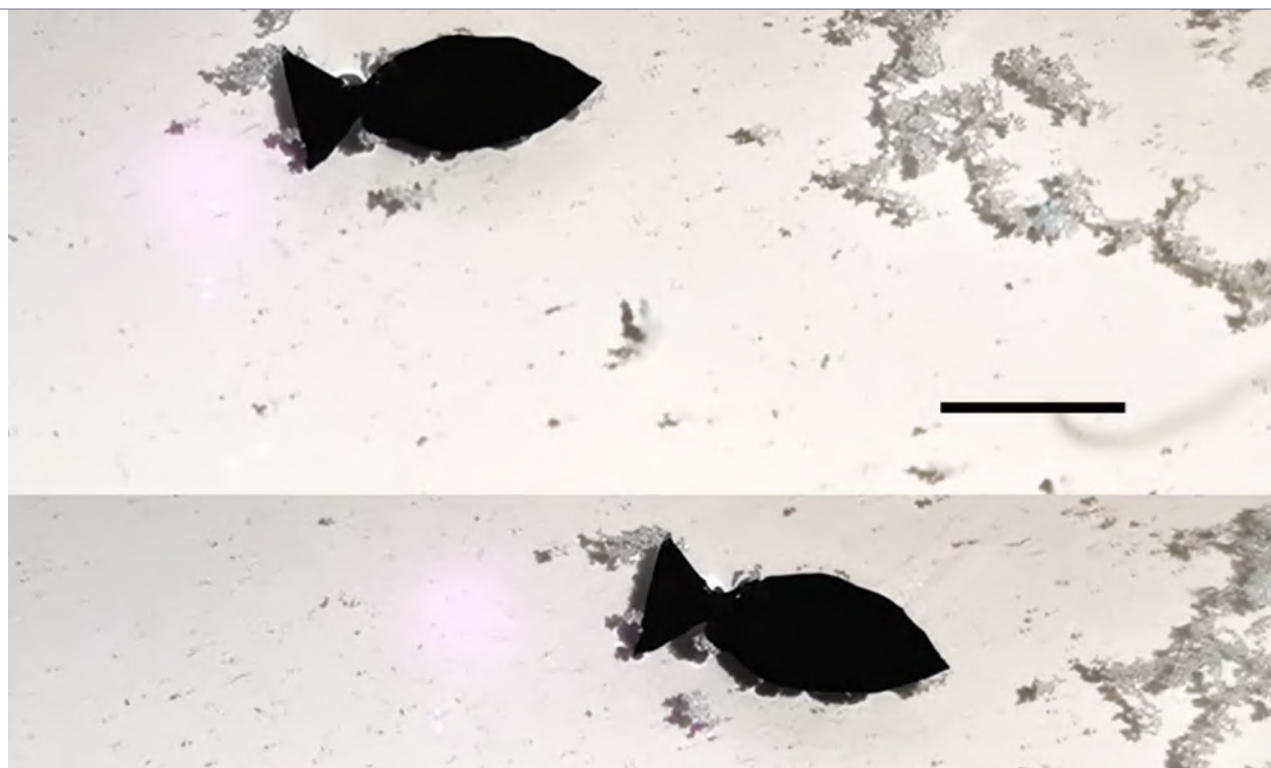
Bukod dito, ang mga operasyon sa paglilinis ng karagatan ay magastos. Halimbawa, ang Great Pacific Garbage Patch ay matatagpuan malayo sa anumang pambansang tubig, na lumilikha ng isang sitwasyon kung saan ang responsibilidad para sa pagpopondo at pagpapatupad ng mga pagsisikap sa paglilinis ay hindi malinaw. Ayon kay Charles Moore, isang oceanographer at explorer na nakatuklas sa Great Pacific Garbage Patch, ang isang buong-scale na paglilinis ng Great Pacific Garbage Patch ay “magpapabangkarote sa alinmang bansa” na nagtangka ng gayong pagsisikap. Dapat pansinin na limang katulad na mga akumulasyon ng basura ang natukoy sa Karagatang Pandaigdig (Larawan 122), na nagpapalala sa problema.



Larawan 122. Schematic na representasyon ng mga lokasyon ng limang pangunahing naipon ng basura sa mga karagatan sa mundo

Mahalagang tandaan na ang nakikitang malalaking debris ay bahagi lamang ng pangkalahatang problema ng polusyon sa plastik sa karagatan. Ayon kay Melanie Bergmann, isang marine biologist sa Alfred Wegener Institute, “**Plastic lang ang pinag-uusapan sa ibabaw ng karagatan, at maliit na bahagi lang iyon, mas mababa sa 1% ng kung ano talaga ang nasa karagatan.**”

Habang ang mga plastik na fragment sa micro- at nanoparticle, ang gawain ng paglilinis ng ganitong uri ng polusyon sa karagatan ay nagiging mas mahirap. Ang ilang mga eksperimentong teknolohiya para sa pag-alis ng microplastics mula sa tubig ay umiiral na. Halimbawa, ang mga mananaliksik mula sa Unibersidad Sichuan ay nakabuo ng isang miniature robotic fish (Larawan 123) na maaaring lumangoy sa isang aquatic na kapaligiran at i-adsorb ang kalapit na malayang lumulutang na piraso ng microplastic³¹¹. Ang 13 mm long bionic robot na ito ay mahusay na nangongolekta ng mga microplastic na particle dahil sa malakas na chemical bond at electrostatic interaction sa pagitan ng mga materyales sa katawan nito at mga microplastic na bahagi ng mabigat na metal, tulad ng mga organic na sangkap at microplastic.



Larawan 123. Ang larawan ay nagpapakita ng isang miniature robotic fish na binuo ng mga mananaliksik mula sa Sichuan University. Ang isang compact na device na kahawig ng isang tunay na isda ay lumulutang sa isang aquatic na kapaligiran, na aktibong sumisipsip ng mga librang lumulutang na piraso ng microplastics. Pinagmulan: <https://www.theguardian.com/environment/2022/jun/22/scientists-unveil-bionic-robo-fish-to-re-move-microplastics-from-seas>

Gayunpaman, sa kabila ng gayong mga pagbabago, ang praktikal na aplikasyon ng mga naturang teknolohiya sa pandaigdigang saklaw ay kasalukuyang limitado. Ang mga maliliit na robot ay sumisipsip ng mga microplastics sa kanilang agarang paligid, na ginagawang lokal ang proseso; kahit na sa malalaking dami, hindi nila kayang masakop ang mga volume ng karagatan ng daigdig. Bilang karagdagan, sila mismo ay maaaring maging bahagi ng food chain. Mayroon ding mga kawalan ng katiyakan tungkol sa kakayahan ng mga robot na gumana sa mga kumplikadong kondisyon ng karagatan (agos, presyon, kaasinan). Samakatuwid, ang mga kasalukuyang solusyon ay hindi pa sapat na epektibo at nahaharap sa mga paghihirap sa pag-scale.

³¹¹Wang, Y. et al. Robust, Healable, Self-Locomotive Integrated Robots Enabled by Noncovalent Assembled Gradient Nanostructure. Nano Lett. 22, 5409–5419 (2022). <https://doi.org/10.1021/acs.nanolett.2c01375>

Mga kasalukuyang pamamaraan para sa paglilinis ng micro- at nanoplastics

Ang potensyal ng paggamit ng mga microorganism, lalo na ang bakterya, para sa enzymatic degradation ng mga sintetikong polimer, pangunahin ang polyethylene terephthalate (PET), ay lalong isinasaalang-alang. Ang teknolohiyang ito ay nakaposisyon bilang isang potensyal na pangkalikasan na alternatibo sa tradisyonal na paraan ng pagre-recycle ng mga basurang plastik - pagsunog. Gayunpaman, ang empirical na data na naipon hanggang sa kasalukuyan ay nagtataas ng mga pagdududa tungkol sa pagiging epektibo, kaligtasan at kakayahang magamit nito sa isang pang-industriyang sukat.

Noong 2016, natuklasan ng isang pangkat ng mga Japanese scientist na pinamumunuan ni Shosuke Oda ang bacterium na *Ideonella sakaiensis*, na may kakayahang magpababa ng polyethylene terephthalate sa pamamagitan ng paggawa ng dalawang enzyme - PETase at METase. Ito ay isang mahalagang kaganapan sa microbiology³¹². Gayunpaman, ipinakita ng mga pag-aaral sa laboratoryo na ang proseso ng agnas ay napakabagal: tumagal ang bakterya ng halos pitong linggo sa ilalim ng pinakamainam na mga kondisyon upang pababain ang isang 20 g plastic film. Malinaw, ang ganitong rate ng pag-recycle ay hindi maaaring ituring na kasiya-siya para sa paglutas ng problema ng plastic polusyon. Sa laki ng pandaigdigang polusyon, kung saan milyon-milyong toneladang plastik ang pumapasok sa kalikasan bawat taon, ang ganoong rate ay maihahambing sa pagsisikap na sumalok sa karagatan gamit ang isang kutsarita.

Ang mga pagsisikap sa pananaliksik ay nakatuon sa pagbabago ng PETase enzyme na ginagamit ng bakterya upang masira ang plastic. Gayunpaman, tulad ng kinikilala mismo ng mga mananaliksik, ang *Ideonella sakaiensis* enzyme ay nasa maagang yugto ng ebolusyon. Ang kahusayan nito ay mababa, ang katatagan nito ay limitado, at ang pagpapabilis ng reaksiyon ay nangangailangan ng mga temperatura na hindi karaniwan sa natural na kapaligiran. Kahit na ang genetic engineering ay hindi pa mahuhulaan kung aling mga mutasyon ang talagang hahantong sa pagpapabuti. Ito ay isang bagay ng “dalawang hakbang pasulong, isang hakbang pabalik,” gaya ng sinabi ni Elizabeth Bell ng US pambansang laboratoryo ng nababagong enerhiya.

Bukod dito, ang pagkasira ng enzymatic ay malayo sa unibersal. Ilang uri lamang ng plastik (tulad ng PET) ang ayon sa teorya ay pumapayag sa naturang pagkasira. Ang polyethylene, polypropylene, at iba pang malawakang ginagamit na materyales ay nananatiling halos hindi nabubulok para sa mga mikroorganismo. At ang mga siyentipiko mula sa Kalikasan ay nagtalo na ang karamihan sa mga plastik ay masyadong masinsinang enerhiya upang maging epektibong biodegraded.

Kahit na lumitaw ang isang napakahusay na mikrobyo, isang mas nakakabagabag na tanong ang lumitaw: maaari ba itong ligtas na mailabas sa kapaligiran? **Anumang genetically modified bacteria ay isang potensyal na mapagkukunan ng ecological disaster. Sa ngayon, halos lahat ng mga bansa ay mahigpit na kinokontrol o ganap na ipinagbabawal ang paglabas ng mga naturang organismo sa ligaw.**

³¹²Yoshida, S. et al. A bacterium that degrades and assimilates poly(ethylene terephthalate). Science 351, 1196–1199 (2016). <https://doi.org/10.1126/science.aad6359>

Ang mga dahilan ay halata: ito ay hindi alam kung paano ang bakterya ay kumilos pagkatapos ng “pagtupad sa kanyang misyon”. Hindi ba ito magsisimulang sirain ang iba pang mahahalagang organikong compound? Hindi ba nito mapapalitan ang iba pang mikrobyo? Hindi ba ito hahantong sa mga mutasyon na may higit pang hindi inaasahang kahihinatnan?

Kaya, ang isang ekolohikal na problema ay madaling mapalitan ng isa pa - mas hindi mahulaan at mapanira.

Sa kabila ng walang alinlangan na kahalagahan ng pangunahing pananaliksik sa larangan ng bacterial recycling ng mga plastik, sa kasalukuyang yugto ang teknolohiyang ito ay hindi maituturing na isang mabisa, nasusukat at ligtas na solusyon sa problema ng plastic na polusyon.

Isang pagsisiyasat sa epekto ng kumukulong tubig sa pagtanggal ng microplastic: pagiging epektibo at mga panganib

Ang biomedical engineering at microplastics scientists mula sa Guangzhou Medical University at Jinan University (China) ay nagsagawa ng pag-aaral.³¹³ Ang eksperimento ay naglalayong pag-aralan ang epekto ng kumukulong tubig na may mataas na nilalaman ng calcium salts (matigas na tubig) sa pagtanggal ng microplastics.

Para sa pag-aaral, ang mga sample ng tubig sa gripo na may iba't ibang katigasan ay kinuha mula sa lungsod ng Guangzhou. Tatlong uri ng plastic particle ang idinagdag sa tubig: polystyrene, polyethylene, at polypropylene, na may sukat mula 0.1 hanggang 150 micrometers. Ang mga sample ay pinakuluan ng 5 minuto, pagkatapos ay pinalamig at ang natitirang microplastic na nilalaman ay sinusukat.

Habang kumukulo, ang hindi matutunaw na calcium carbonate (CaCO_3), na kilala bilang scale, ay nabubuo sa matigas na tubig na puspos ng mga calcium salt. Iminungkahi ng mga mananaliksik na ang mga microplastic na particle ay maaaring magbigkis sa mga kristal na calcium carbonate at namuo, na nagpapaliwanag ng pagbaba sa konsentrasyon ng microplastics sa pinakuluang tubig.

Pinakamataas ang kahusayan sa paglilinis sa mga sample na may mataas na tigas (300 mg CaCO_3 kada litro), kung saan ang pagkulo ay nag-aalis ng hanggang 90% ng microplastics. Sa mga sample na may malambot na tubig (mas mababa sa 60 mg CaCO_3 bawat litro), ang epekto ay makabuluhang mas mababa: 25% lamang ng mga plastic na particle ang naalis.

Gayunpaman, sa kabila ng ilang positibong epekto mula sa kumukulong matigas na tubig, isang mahalagang tanong ang lumitaw: ang posibilidad ng micro- at nanoplastics na makapasok sa hangin. Kapag kumukulo ang tubig, ang singaw ng tubig ay inilabas, kung saan ang mga microplastic na particle ay pumapasok sa hangin. Ang paglanghap ng naturang mga particle ay isang mas malubhang banta kaysa sa kanilang pagkonsumo sa pagkain o tubig.

³¹³Yu, Z., Wang, J.-J., Liu, L.-Y., Li, Z. & Zeng, E. Y. Drinking Boiled Tap Water Reduces Human Intake of Nanoplastics and Microplastics. Environ. Sci. Technol. Lett. 11, 273–279 (2024). <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.4c00081>

Ipinakikita ng mga pag-aaral na kapag nalalanghap, ang mga nanoplastics ay maaaring tumagos sa utak sa loob ng 2 oras, habang kapag pumapasok sa sistema ng pagtunaw, ang microplastics ay bahagyang inaalis mula sa katawan. Ang plastik sa utak ay nauugnay sa mga pangmatagalang panganib, dahil imposibleng alisin ang mga naturang particle mula sa tisyu ng utak.

Ang paraan ng pagkulo samakatuwid ay potensyal na nagpapataas ng panganib ng microplastic na kontaminasyon ng hangin, na maaaring mas mapanganib sa kalusugan ng tao. Itinatampok nito ang pangangailangang bumuo ng mas ligtas at mas epektibong paraan ng paglilinis ng tubig.

Pyrolysis bilang isang paraan ng pag-recycle ng plastik: kahusayan at mga panganib

Ang Pyrolysis ay isang pag-recycle ng plastik na teknolohiya batay sa thermal pagkabulok nito sa mataas na temperatura sa isang kapaligiran na may limitadong oxygen access. Ang proseso ay karaniwang isinasagawa sa mga temperatura mula 300 hanggang 800 °C at nagbibigay-daan sa pagkuha ng mga gas at likidong hydrocarbon compound, pati na rin ang isang solidong nalalabi sa anyo ng carbon.

Sa panahon ng mataas na temperatura na agnas, ang mga polymer chain ng plastic ay nawasak, na bumubuo ng pinaghalong hydrocarbon na maaaring magamit bilang gasolina. Gayunpaman, ang pamamaraang ito, kasama ang tradisyonal na plastic incineration, ay sinamahan ng makabuluhang mga panganib sa kapaligiran na nauugnay sa paglabas ng nanoplastics.

Sa ilalim ng impluwensya ng mataas na temperatura, ang plastic ay nawasak sa maliliit na particle, kabilang ang nanoplastics (mas mababa sa 100 nanometer ang laki). Ang mga particle na ito ay napakaliit na ang mga modernong sistema ng pagsasala ay hindi ganap na mapanatili ang mga ito, bilang isang resulta kung saan sila ay pumapasok sa kapaligiran.

Ang mga nasusunog na plastik ay naglalabas din ng mga dioxin at furan, mga nakakalason na compound na may carcinogenic effect³¹⁴.

Kaya, ang paggamit ng pyrolysis at pagsunog ng mga plastik upang makagawa ng gasolina ay sinamahan ng isang malaking panganib ng mga emisyon sa atmospera, na nagdudulot ng banta hindi lamang sa kapaligiran, kundi pati na rin sa kalusugan ng tao. Ang pamamaraang ito ng pag-recycle ng mga plastik ay hindi maaaring ituring na isang ligtas at napapanatiling solusyon sa problema ng polusyon sa kapaligiran. Ang presyo ng naturang gasolina ay banta sa buhay at kalusugan ng tao.

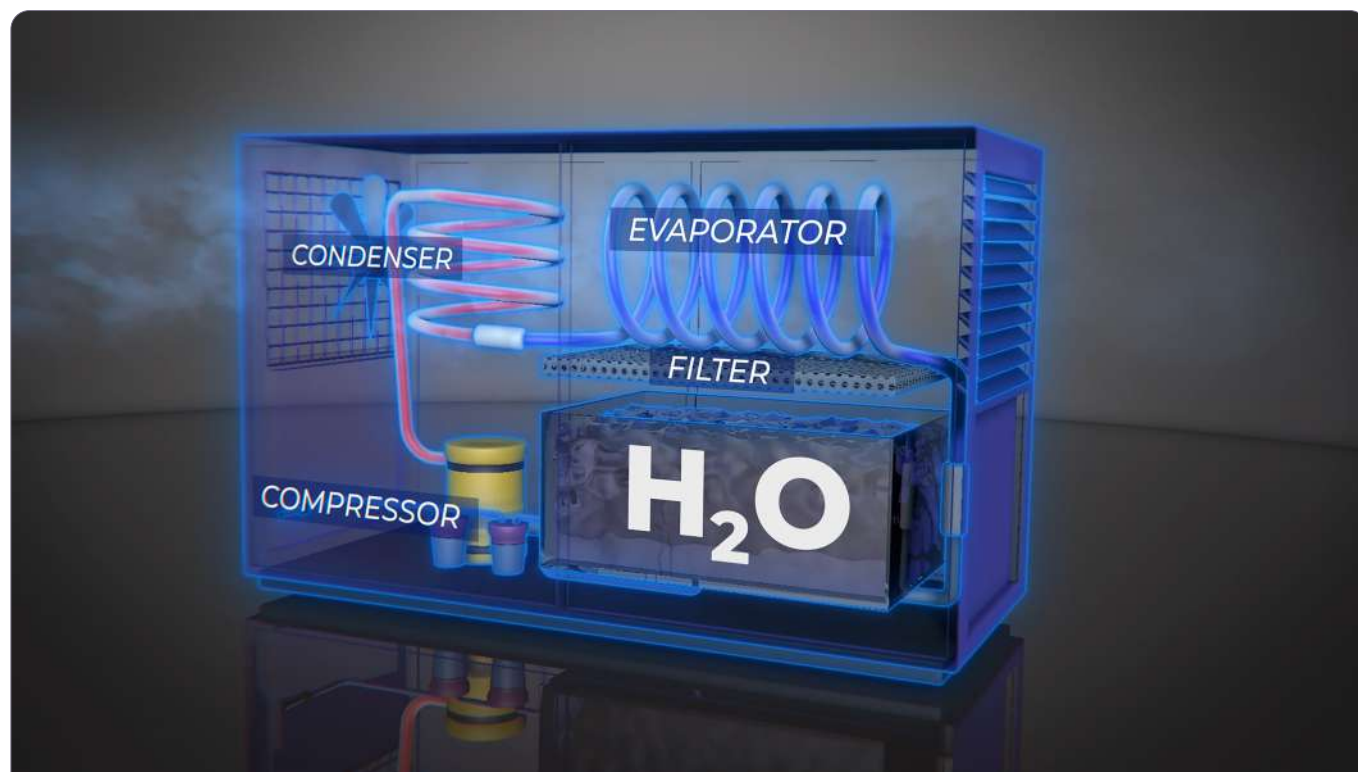
³¹⁴Baca, D. et al. Dioxins and plastic waste: A scientometric analysis and systematic literature review of the detection methods. Environmental Advances 13, 100439 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2023.100439>

MGA DISKARTE NG PAMAYANANG SIYENTIFIKO NG ALLATRA UPANG LABANAN ANG EPIDEMYA NG MICRO- AT NANOPLASTICS

Atmospheric Water Generators (AWG) Technology para sa Paglilinis ng Karagatan mula sa MNP

Ang pagpapanumbalik ng ekolohikal na balanse ay nangangailangan ng malawakang pagpapatupad ng mga makabagong teknolohiya, tulad ng atmospheric water generators (AWG). Ngayon, ang mga naturang pag-install ay ipinakita sa isang malawak na hanay, mula sa sambahayan hanggang sa pang-industriya na mga modelo. Ang mga aparatong ito ay may kakayahang gumawa ng inuming tubig mula sa hangin, na epektibong nag-aalis ng mga pollutant, kabilang ang microplastics (Larawan 124). Upang mapabuti ang lasa at kalidad, ang tubig ay maaari ding mineralized.

Ang mga generator ay nagpapatakbo sa prinsipyo ng paghalay ng kahalumigmigan na nakapaloob sa hangin.



Larawan 124. Ang imahe ay nagpapakita ng isang schematic diagram ng isang atmospheric water generator, na naglalarawan ng mga bahagi nito at operating prinsipyo

Gumagana ang mga AGW gamit ang dalawang pangunahing teknolohiya:

1. **Teknolohiyang nakabatay sa kondensasyon.** Ang pamamaraang ito ay kumukuha ng nakapaligid na hangin sa device at inilalantad ito sa isang malamig na ibabaw/coil, na nagiging sanhi ng pag-condense ng singaw ng tubig upang maging likido. Ang prosesong ito ay katulad ng halumigmig na nabubuo sa isang malamig na bagay na kinuha mula sa isang freezer. Pinakamahasag na gumagana ang mga condensing AGW sa mainit at mahalumigmig na kapaligiran.

2. **Adsorption-based na teknolohiya.** Ang mga materyales na sumisipsip ng kahalumigmigan tulad ng silica gel, zeolite, o metal-organic na mga balangkas ay ginagamit upang makuha ang kahalumigmigan mula sa hangin. Ang hinihigop na tubig ay pagkatapos ay inilabas kapag ang materyal ay pinainit.

Sa ngayon, ang mga naturang yunit ay ginagamit nang lokal upang magbigay ng inuming tubig sa populasyon, kabilang ang mga sitwasyong nauugnay sa mga kalamidad sa klima.

Ang malakihang paggamit ng mga AGW upang matugunan ang mga pangangailangan ng parehong industriya at populasyon ay maaaring humantong sa isang makabuluhang pagbawas sa polusyon sa karagatan sa loob ng ilang taon.

Sa kasalukuyan, ang pinagmumulan ng tubig para sa domestic use, kabilang ang pagluluto, ay mga reservoir na kadalasang naglalaman ng mataas na antas ng micro- at nanoplastics. Ang tubig na ito ay nag-aambag sa akumulasyon ng plastic sa katawan ng tao. Ang paglipat sa pagkuha ng tubig mula sa hangin, sa halip na mula sa maruming pinagmumulan, ay maaaring makabuluhang mapabuti ang kalidad ng natupok na tubig.

Pagpapanumbalik ng mga ecosystem sa pamamagitan ng natural na pagsasala at mga generator ng tubig sa atmospera

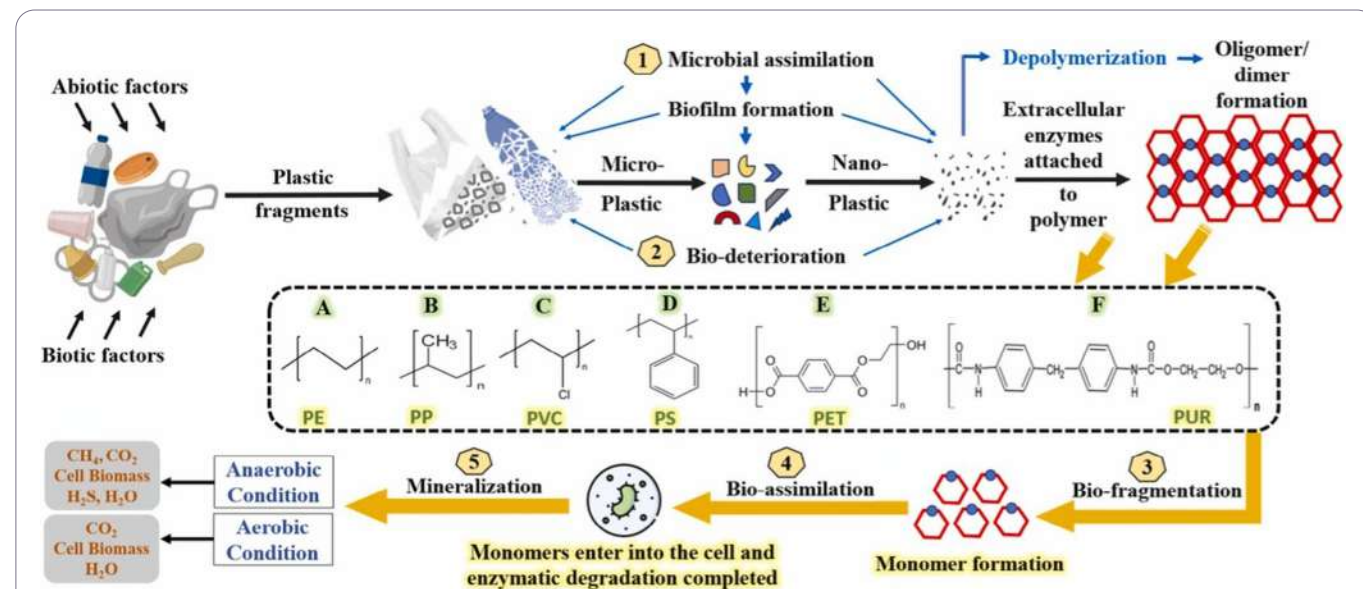
Ang mga makabagong teknolohiya, modernong filtration at assimilation system ay dapat gamitin upang epektibong alisin ang microplastics mula sa ginamit na tubig. Bilang karagdagan, mahalaga na muling magbigay ng kasangkapan sa mga pasilidad ng paggamot upang ang ginamit na tubig pagkatapos ng paglilinis ay hindi ilalabas sa mga anyong tubig, ngunit ipinadala sa lupa, dahil ang mga mikroorganismo ay likas na may kakayahang magproseso ng plastik na naninirahan sa lupa³¹⁵.

Malaki ang pagkakaiba ng mga organismo na ito mula sa mga genetically modified o artipisyal na nilikha sa mga kondisyon ng laboratoryo. Ang kanilang presensya sa mga ecosystem ay nananatiling natural, at hindi sila nagpapakita ng mga palatandaan ng invasive species sa isang partikular na kapaligiran.

³¹⁵Park, S. Y. & Kim, C. G. Biodegradation of micro-polyethylene particles by bacterial colonization of a mixed microbial consortium isolated from a landfill site. *Chemosphere* 222, 527–533 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.01.159>

Ang pananaliksik³¹⁶ ay nagpapahiwatig na ang isang bilang ng mga mikrobyo sa lupa na naninirahan sa mga natural na kapaligiran³¹⁷ ay nagpapakita ng makabuluhang kahusayan sa mga nabubulok na polymer³¹⁸ tulad ng polyethylene³¹⁹ at polyethylene terephthalate.³²⁰ Halimbawa, ang pinakamalaking aktibidad ng pagkasira ng fungal — isang average na pagbaba sa polyethylene mass na $36.4 \pm 5.53\%$ sa loob ng 16 na linggo — ay naobserbahan sa *Aspergillus oryzae* A5, 1 strain.

Ang kakayahan ng mga mikrobyo na mag-biodegrade ng mga polimer ay dahil sa ang katunayan na sila ay gumagawa ng mga enzyme na nagpapahintulot sa kanila na sirain ang mga kumplikadong molekular na istruktura ng mga plastik³¹⁷.



Larawan 125. Pagkasira ng micro- at nanoplastics ng bacterial enzymes.

Pinagmulan: Mandal, M., Roy, A., Popek, R. & Sarkar, A. Micro- at nano-plastic Pagkasira ng bacterial enzymes: Isang solusyon sa 'White Pollution'. Ang Microbe 3, 100072 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.microb.2024.100072>

Ang mga datos na ito, na sinusuportahan ng mga eksperimentong obserbasyon, ay tumutukoy sa potensyal ng paggamit ng mga natural na microbial na komunidad upang mabawasan ang micro- at nanoplastic na polusyon sa kapaligiran.

“Sa ilang mga paraan ng remediation na magagamit ngayon, ang microbial remediation ay nagpapakita ng pinakamahasag na mga may pagkakataon para sa pagkasira o napapanatiling pag-alis ng microplastics mula sa kapaligiran,” ayon sa isang pag-aaral sa pagsusuri³¹⁸.

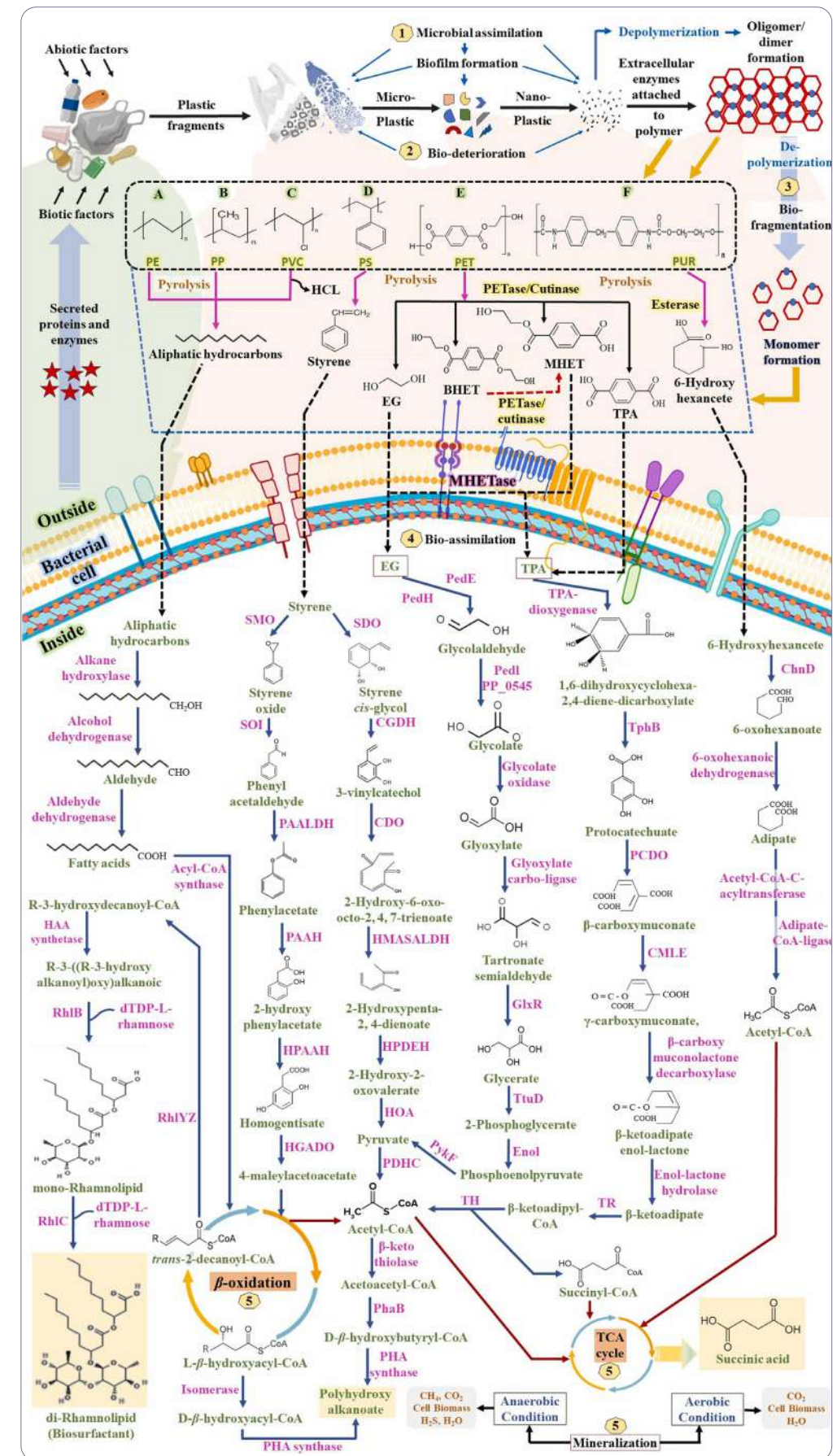
³¹⁶Auta, H. S. et al. Enhanced microbial degradation of PET and PS microplastics under natural conditions in mangrove environment. Journal of Environmental Management 304, 114273 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114273>

³¹⁷Mandal, M., Roy, A., Popek, R. & Sarkar, A. Micro- and nano- plastic degradation by bacterial enzymes: A solution to 'White Pollution'. The Microbe 3, 100072 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.microb.2024.100072>

³¹⁸Auta, H. S., Emenike, C. U., Jayanthi, B. & Fauziah, S. H. Growth kinetics and biodeterioration of polypropylene microplastics by *Bacillus* sp. and *Rhodococcus* sp. isolated from mangrove sediment. Marine Pollution Bulletin 127, 15–21 (2018). <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.11.036>

³¹⁹Muhonja, C. N., Makonde, H., Magoma, G. & Imbuga, M. Biodegradability of polyethylene by bacteria and fungi from Dandora dumpsite Nairobi-Kenya. PLOS ONE 13, e0198446 (2018). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198446>

³²⁰Yoshida, S. et al. A bacterium that degrades and assimilates poly(ethylene terephthalate). Science 351, 1196–1199 (2016). <https://doi.org/10.1126/science.aad6359>

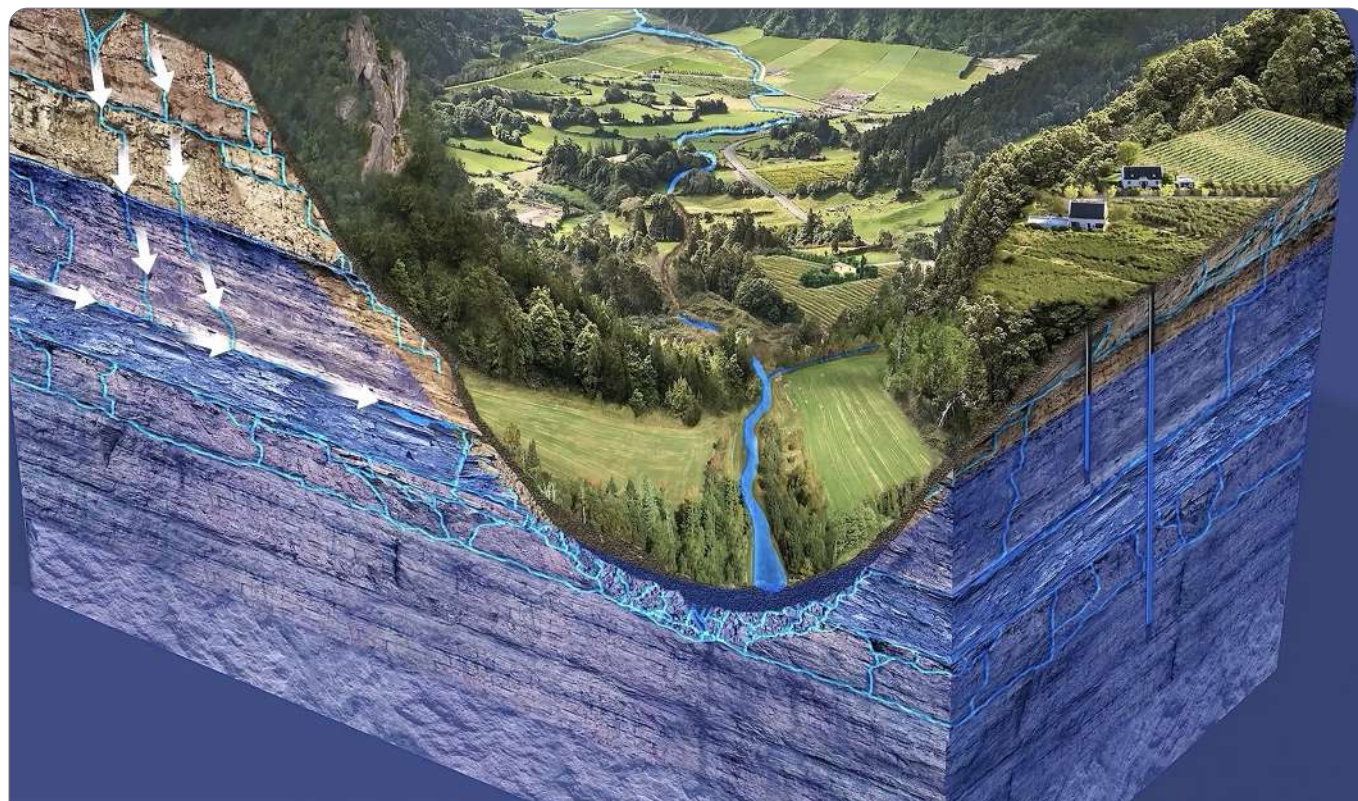


Larawan 126. Ang mga basurang plastik ay bumababa sa mga MNP dahil sa iba't ibang abiotic at biotic na mga kadahilanan .

Pinagmulan: Mandal, M., Roy, A., Popek, R. & Sarkar, A. Micro- at nano-plastic pagkasira ng bacterial enzymes: Isang solusyon sa “puting polusyon”. Ang Microbe 3, 100072 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.microb.2024.100072>

Kaya, ang paglipat sa hangin-sa-tubig na teknolohiya ay makabuluhang mapabuti ang kalidad ng natupok na tubig, at kasama ng teknolohiya sa remediation ng microbial, ito ay mag-aambag sa isang makabuluhang pagbawas sa micro- at nanoplastic na polusyon sa kapaligiran.

Sa itaas na mga layer ng lupa, pati na rin sa mga katawan ng tubig, ang konsentrasyon ng plastic ay mananatiling mataas sa loob ng ilang panahon. Gayunpaman, habang ang tubig ay tumagos sa mas malalim, ang paglilinis sa sarili ay magaganap (Larawan 127). Ang mga mikroorganismo na naninirahan sa lupa ay magpapadali sa pagkasira ng maliliit na particle ng nanoplastics.



Larawan 127. Schematic na representasyon ng proseso ng biological karagdagang paggamot ng tubig na ibinubuhos sa lupa sa pamamagitan ng mga geological na bato. Ipinapakita ng mga arrow ang landas ng wastewater habang dumadaan ito sa mga layer ng lupa at bato, kung saan ang mga mikroorganismo at filter media ay nag-aalis ng mga contaminant. Ang mga layer ng lupa ay may kulay: kayumanggi para sa lupa, kulay abo para sa buhangin at graba.

Ang pagtaas ng dami ng wastewater na na-filter sa mga planta ng paggamot at ilalabas ito sa lupa ay naghihiikayat sa paglaki ng mga mikroorganismo, kabilang ang bacteria, fungi, at archaea, na mahalaga para sa malusog na lupa, nutrient cycling, at ecosystem sustainability. Ang dalisay na tubig ay tatagos sa mas malalim na mga layer at babalik sa mga karagatan.

Ang paglalagay ng mga atmospheric water generator sa mga rehiyon ng disyerto at pagbabalik ng wastewater sa lupa ay isang magandang solusyon para sa pagtagumpayan ng krisis sa tubig at paglaban sa desertification dahil pinapagana nito ang mga prosesong nagsusulong ng pagpapanumbalik ng

vegetation³²¹ at ecosystem. Ang paggamit ng mga AGW ay mapapabuti ang kalidad ng buhay ng lokal na populasyon, na malulutas ang problema ng kakulangan sa inuming tubig.

Kasabay ng microbial reclamation, ang paggamit ng mga AGW ay maaaring maging isang mahalagang hakbang tungo sa napapanatiling pamamahala ng tubig at pagpapanumbalik ng mga nasira na lupain.

Ang isang kumpletong paglipat sa mga AGW ay kinabibilangan ng paggamit ng tubig sa atmospera para sa lahat ng pangangailangan ng tao, kabilang ang domestic, industriyal at agrikultura. Ang pagpapakilala ng teknolohiyang ito sa isang pandaigdigang saklaw ay hahantong sa mas matinding pagsingaw, na magiging sanhi ng paglamig ng karagatan at mapabilis ang paglilinis nito. Bilang karagdagan, ang pagbawas ng labis na kahalumigmigan sa atmospera gamit ang mga AGW ay magbabawas sa dami ng matinding pag-ulan at hangin, na maaaring magaan ang mapanirang epekto ng mga natural na kalamidad (higit pang mga detalye sa pelikulang “Tubig Mula sa Hangin. Ang Landas Tungo sa Pagliligtas ng Sangkatauhan”).

Mga hamon at panganib na nauugnay sa paggamit ng mga generator ng tubig sa atmospera

Gayunpaman, mayroong isang downside sa pandaigdigang paggamit ng mga AGW. Ang problema ay ang paggamit ng mga teknolohiya sa pagbuo ng tubig sa atmospera ay hindi direktang isinasaalang-alang ang epekto nito sa mga tao. Bagama’t ang paggamit ng teknolohiyang ito ay talagang makakatulong sa malinis na tubig sa karagatan at mapabuti ang thermal kondaktibiti, ang malakihang paggamit ng mga AGW ay maaari ding humantong sa isang makabuluhang pagtaas sa konsentrasyon ng microplastics sa atmospera. Ang mekanismo ng pagpapatakbo ng mga AGW ay nagsasangkot ng paghalay ng kahalumigmigan mula sa atmospera, na pagkatapos ay pinupunan ng pagsingaw mula sa mga tubig sa karagatan. Dahil ang mga tubig na ito ay naglalaman ng mataas na antas ng microplastics at nanoplastics, ang moisture na inilabas sa atmospera sa panahon ng prosesong ito ay maaaring maghatid ng maliliit na plastic particle. Bilang resulta, sa mga rehiyon kung saan ginagamit ang mga teknolohiyang ito, kabilang ang mga malalaking lungsod, ang mga antas ng nanoplastics sa nilalanghap na hangin ay maaaring umabot sa parehong mga antas na kasalukuyang sinusunod sa mga baybaying sona. Lumilikha ito ng panganib ng pagtaas ng konsentrasyon ng nanoplastics sa hangin, na nagdudulot ng banta sa kalusugan ng tao. Ang paglanghap ng nanoplastics ay nakakatulong sa akumulasyon nito sa katawan, kabilang ang utak.

At ito ang pangunahing punto. Mahalagang maunawaan na ang mismong ideya ng paggamit ng mga AGW bilang isang paraan ng paglilinis ng tubig sa karagatan ay iniharap ng mga siyentipiko ng ALLATRA higit sa 20 taon na ang nakalilipas - sa mga kondisyon kung saan ang konsentrasyon ng microplastics sa atmospera ay nanatiling napakababa. Sa oras na iyon, ang pagpapatupad ng naturang mga teknolohiya ay maaaring talagang magdala ng mga nasasalat na benepisyos sa kapaligiran nang

³²¹Islam, W., Zeng, F., Alotaibi, M. O. & Khan, K. A. Unlocking the potential of soil microbes for sustainable desertification management. *Earth-Science Reviews* 252, 104738 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2024.104738>

walang malubhang panganib sa mga tao. Gayunpaman, ngayon ang sitwasyon ay nagbago nang malaki. Sa kabaligtaran, ang malawakang paggamit ng mga AGV sa mga modernong kondisyon ay pangunahing hahantong sa pagtaas ng konsentrasyon ng mga MNP sa hangin; ngayon, na may mataas na antas ng mga MNP sa atmospera, ang pagdaragdag ng mga karagdagang volume sa pamamagitan ng mga AGV ay maaaring nakamamatay sa kalusugan ng tao.

Kaya, ang teknolohiya, sa sandaling may pag-asa at makabagong, ay nawala ang kaugnayan nito. Tayo, bilang sangkatauhan, ay nakaligtaan ang kritikal na sandali na ang mga AGV ay maaaring maging isang kaligtasan. Ang kadahilanan ng oras sa mga isyu sa polusyon sa klima at kapaligiran ay gumaganap ng isang mapagpasyang papel. Ang maaaring mapangalagaan ang kalusugan ng milyun-milyon at talagang naglinis sa planeta dalawang dekada na ang nakalipas ay naging potensyal na mapanganib ngayon. Ang mga AGV ay hindi na teknolohiya ng hinaharap, ngunit isang paalala ng isang napalampas na pagkakataon. Sa kasalukuyang katotohanan, ang dapat na prioridad ay ang mga pag-unlad na magpapahintulot sa pag-alis ng MNP mula sa atmospera at mula sa katawan ng tao. Una sa lahat, kailangan nating bumili ng oras.

Makabagong siyentipikong diskarte sa pagbabawas ng toxicity ng micro- at nanoplastics

Dahil sa ipinakitang data sa multi-level at pinagsama-samang epekto ng microplastics, at lalo na ang nanoplastics, sa kalusugan ng tao, nagiging halata: ang modernong sibilisasyon ay nahaharap sa isang ekolohikal at biomedical na hamon na higit pa sa tradisyonal na mga ideya tungkol sa polusyon sa kapaligiran. Ang problemang ito ay nakakaapekto hindi lamang sa mga indibidwal na biosphere, kundi pati na rin sa pagpapanatili ng populasyon ng Homo sapiens sa mahabang panahon.

Sa ngayon, halos lahat ng ginawang plastik - higit sa 9 bilyong tonelada - ay patuloy na naiipon sa kapaligiran, na nahahati sa micro- at nano-sized na mga particle na may mataas na aktibidad ng kemikal at biyolohikal. Ang micro- at nanoplastics ay matatagpuan sa lupa, tubig, hangin at sa lahat ng pangunahing kategorya ng pagkain - mula sa mga gulay at prutas hanggang sa karne, isda, pulot, gatas at asin. Ipinapahiwatig nito ang kabuuang pagtagos ng mga plastic na particle sa mga food chain, na makabuluhang binabago ang tradisyonal na ideya ng “ligtas” o “malusog” na pagkain.

Ang ruta ng pagpasok ng mga particle sa katawan ng tao ay higit na tinutukoy ang kanilang biological na pag-uugali at pamamahagi. Habang ang plastic na pumapasok sa digestive tract ay maaaring bahagyang maalis, ang ruta ng paglanghap ay nailalarawan sa pamamagitan ng isang makabuluhang mas mataas na antas ng panganib. Ang mga nilalanghap nanoplastics ay naninirahan sa tissue ng baga, nagtagumpay sa hematogenous na mga hadlang at maaaring direktang maabot ang utak, kung saan maaari silang maipon sa loob ng mahabang panahon. Kasabay nito, ang mga natural na mekanismo ng detoxification (atay, bato) ay walang epektibong paraan ng pagkilala at pag-alis ng mga naturang particle.

Ang pinakamataas na densidad ng microplastics ay naitala malapit sa mga anyong tubig, coastal zone at kagubatan - lalo na sa mga kondisyon ng mataas na kahalumigmigan at temperatura.

Sa ganitong mga landscape, ang plastik ay tumatagal nang mas mahaba, nakikilahok sa paglipat ng aerosol, naghihiikayat ng oxidative stress sa mga halaman at binabawasan ang kahusayan ng mga proseso ng photosynthetic. Ang paglilibang sa baybayin, na dating itinuturing na kapaki-pakinabang sa mga tuntunin ng kalusugan, ay nauugnay na ngayon sa karagdagang pag-load ng paglanghap: ayon sa mga pagtatantya, ang dami ng inhaled plastic malapit sa mga bukas na katawan ng tubig ay maaaring maraming beses na mas mataas kaysa sa mga urban na kapaligiran.

Ang mga pag-aaral sa epidemiological ay nagpapakita ng isang matatag na ugnayan sa pagitan ng antas ng polusyon ng MNP at ang paglaganap ng mga talamak na hindi nakakahawang sakit, kabilang ang arterial hypertension, diabetes, stroke, depressive at cognitive disorder. Dahil sa kakayahang malampasan ang mga biological na hadlang at maipon sa iba't ibang mga tisyu, kabilang ang utak, puso, baga at inunan, ang MNP ay may nakakalason na epekto sa antas ng molekular, cellular at organ. Ang plastik, na naipon sa katawan, ay may immunosuppressive, nagpapasiklab at genotoxic na epekto. Sa kabila ng pag-unlad sa pagtukoy ng mga panganib, ang mga epektibong mekanismo para sa pag-neutralize at pag-alis ng MNP mula sa katawan ng tao ay hindi pa nabuo.

Ang isa sa mga pinaka-kritikal na katangian ng nanoplastics, na may sistematikong biological na epekto, ay ang kakayahang mapanatili ang isang electrostatic charge. Hindi tulad ng mga inert na particle, aktibong nakikipag-ugnayan ang nanoplastics sa mga cellular surface, protina, receptor at maging genetic material, na bumubuo ng mga matatag na bono sa antas ng molekular. Ang pag-aari na ito ay hindi lamang pinahuhusay ang pagtagos ng mga nanoplastic na particle sa pamamagitan ng mga biological na hadlang, kabilang ang hadlang sa dugo-utak, ngunit nagpapalubha din sa kanilang kasunod na pag-alis, na nag-aambag sa pangmatagalang pagpapanatili sa mga tisyu, lalo na sa utak. Ang pakikipag-ugnayan ng electrostatic ay nagpapasimula ng isang kaskad ng mga cellular disorder, kabilang ang depolarization ng lamad, mitochondrial dysfunction, oxidative stress at apoptosis, na makabuluhang nagpapataas ng toxicity kahit na sa minimal na konsentrasyon ng mga nanoplastic na particle.

Ang mga may-akda ng ulat na ito ay nagmumungkahi na ang solusyon sa problemang ito — neutralisasyon o shielding ng electrostatic charge ng micro- at nanoplastics — ay maaaring maging isang pangunahing tagumpay na may kakayahang makabuluhang bawasan ang biological na aktibidad ng nanoplastics at pagbagal ng rate ng kanilang akumulasyon sa mga kritikal na organo. Ayon sa mga may-akda ng ulat, ang pagprotekta o neutralisasyon ng electrostatic charge ay maaaring mabawasan ang potensyal na panganib ng mga MNP ng hindi bababa sa 50%, na ginagawang kritikal ang lugar na ito ng pananaliksik. Bibigyan nito ang siyentipikong komunidad ng agwat sa oras na kinakailangan upang bumuo ng mas komprehensibong mga diskarte sa mga diagnostic, detoxification at pag-iwas sa mga kahihinatnan ng mga MNP. Kaugnay

nito, ang pananaliksik sa larangan ng biophysics, agham ng nanomaterial at molecular toxicology ay pangunahing kahalagahan. Ang pagkaantala sa kasong ito ay isang potensyal na pagpapabilis ng mga proseso ng pagkasira.

Kaayon ng mga biomedical na solusyon, isang diskarte na nakabatay sa siyensya para sa ligtas na paghawak ng mga basurang plastik ay kinakailangan. Ang umiiral na sistema ng pagtatapon ay hindi mapipigilan ang karagdagang pagkapira-piraso at paglabas ng microplastics sa biosphere. Sa konteksto ng globalisasyon, kinakailangan na bumuo ng isang internasyonal na platform ng teknolohiya para sa paglikha, pagpapatupad at pag-scale ng mga ligtas na pamamaraan para sa pagkolekta at pag-recycle ng mga plastik. Ang mga naturang hakbang ay maaari lamang ipatupad sa pamamagitan ng suporta sa institusyon, regulasyon sa cross-border at diplomasya sa siyensya.

Ang partikular na kahalagahan ay ang pagpapataas ng kamalayan sa mga siyentipikong komunidad, mga kinatawan ng pangangalagang pangkalusugan at sa pangkalahatang publiko. Sa ngayon, karamihan sa mga tao ay hindi nauunawaan ang laki ng epekto ng mga MNP at patuloy na hindi namamalayang nag-aambag sa pagkalat nito.

Kaya, ang problema ng micro- at nanoplastics ay tumigil na maging isang potensyal na banta at naging isang sistematikong kadahilanan ng panganib. Ang lugar na ito ay nangangailangan ng prioridad na atensyon mula sa siyentipikong komunidad at mga awtoridad sa kalusugan, sistematisasyon ng data, pagbuo ng mga pamantayan sa pagtatasa ng panganib, pati na rin ang pagpapalawak ng interstate at internasyonal na kooperasyon. Upang makabuo ng mga epektibong solusyon na nagsisiguro ng biological na kaligtasan sa maikli at mahabang panahon, isang interdisciplinary na diskarte, pagkilala sa institusyon at internasyonal na pagsasama-sama ng mga pagsisikap ay kailangan.

FACTOR X. ANG EPEKTO NG MICRO-AT NANOPLASTICS SA MGA DINAMIKA NG SIKLO NG MGA NATURAL NA SAKUNA

Tulad ng nabanggit na sa kabanata na “Ang Epekto ng Micro- at Nanoplastics sa Klima”, binabawasan ng mga micro- at nanoplastic na particle ang pagpapaandar ng init ng karagatan, na humahantong sa akumulasyon ng init sa karagatan at, bilang isang resulta, sa isang kritikal na pagtaas sa temperatura ng karagatan. Gayunpaman, ang micro- at nanoplastics mismo ay hindi pinagmumulan ng pag-init ng karagatan.

Mula noong tagsibol ng 2023 at higit sa isang taon, ang karaniwan na temperatura sa ibabaw ng karagatan ng daigdig ay nag-a-update ng mga makasaysayang maximum araw-araw, na naging isang hindi pa naganap na kababalaghan sa kasaysayan ng mga obserbasyon (Larawan 128). Ang mga siyentipiko sa buong mundo ay nagpapahayag ng seryosong pag-aalala tungkol sa abnormal na pagtaas na ito.



Si Dr. Brian McNoldy, isang matandang mananaliksik sa Paaralan ng Agham sa Karagatan sa Unibersidad ng Miami, ay nagsabi: **“Hindi lamang natin pinag-uusapan ang tungkol sa mga rekord ng temperatura sa karagatan na naobserbahan sa loob ng isang buong taon - ito ay mahalaga kung hanggang saan ang mga bagong rekord na ito ay lumampas sa mga nauna. Ang kasalukuyang mga bilang ay hindi man lang lumalapit sa mga nakaraang antas ng rekord.”**³²²



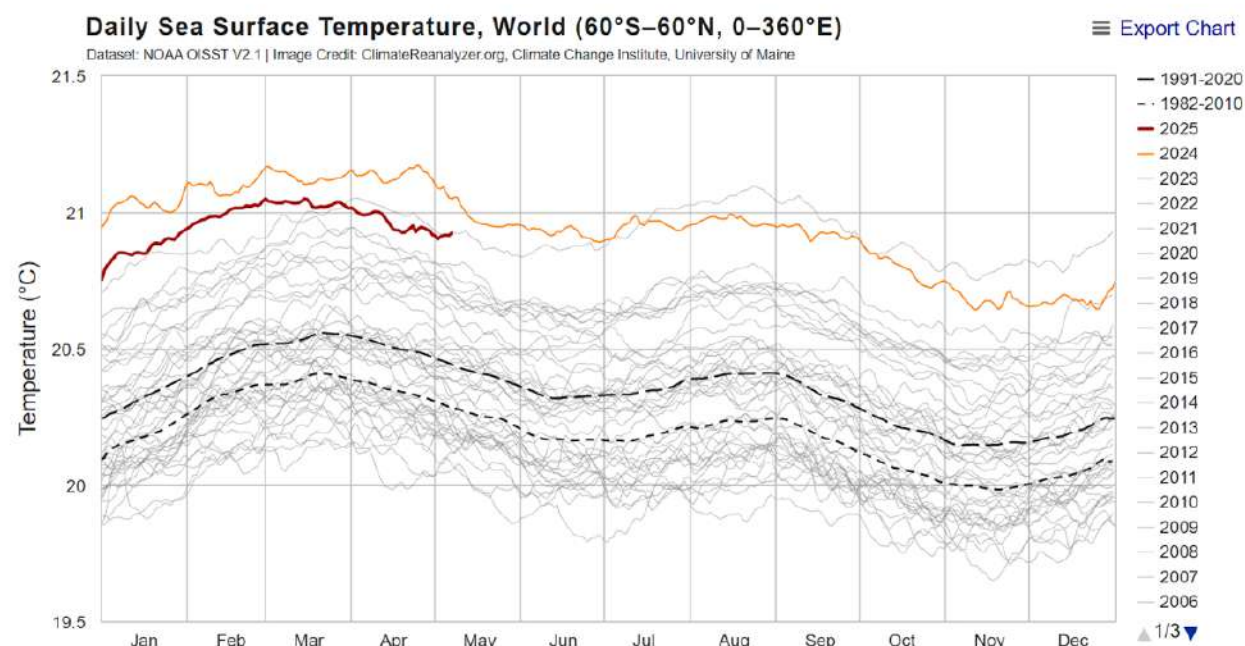
Ang pag-aalala na ito ay ibinahagi ni Dr Rob Larter, isang British marine geophysicist: **“Talagang nakakabahala, hindi bababa sa dahil wala akong narinig na sinumang siyentipiko na nakagawa ng isang nakakumbinsi na paliwanag kung bakit mayroong isang malaking paglihis. Ngunit ito ay tila mas mabilis at mas mabilis kaysa sa aming inaasahan.”**³²³

Ipinapakita ng mga pag-aaral sa klima na hinuhulaan ng mga kasalukuyang modelo ang unti-unting pagtaas ng temperatura sa ibabaw ng karagatan, ngunit ang naobserbahang rate ng pagtaas ay mas mataas kaysa sa hinulaang. Naniniwala ang mga siyentipiko na ang anthropogenic na pagbabago ng klima ay gumaganap ng isang papel, ngunit hindi nito ganap na maipaliwanag ang naobserbahang kababalaghan.

³²²NBC News. ‘12 months of record ocean heat has scientists puzzled and concerned’. (2024)
<https://www.nbcnews.com/science/environment/oceans-record-hot-rcna143179>

³²³The New York Times. Scientists are freaking out about ocean temperatures. (2024)
<https://www.nytimes.com/2024/02/27/climate/scientists-are-freaking-out-about-ocean-temperatures.html>. (Accessed May 1, 2025).

Si Propesor John Abraham mula sa Unibersidad ng St Thomas, na nag-aaral ng mga temperatura ng karagatan, ay nagmungkahi na may mga dati nang hindi kilalang mga kadahilanan na maaaring nakakaimpluwensya sa mga pangmatagalang pagbabago sa mga temperatura sa ibabaw ng karagatan³²². Nabanggit niya na ang mga salik na ito ay hindi isinasaalang-alang sa mga nakaraang pagtataya. Ang mga may-akda ng ulat na ito ay nagmumungkahi ng pagkakaroon ng isang tiyak na “factor X” na maaaring maging responsable para sa karagdagang pag-init ng karagatan at atmospera.



Larawan 128. Pang-araw-araw na Mean na Temperatura sa Ibabaw ng Karagatan, 1981–2025.

Pinagmulan ng Data: NOAA OISST V2.1 Dataset | Pinagmulan ng Larawan: ClimateReanalyzer.org, Instituto sa Pagbabago ng klima, unibersidad ng Maine, Dataset NOAA OISST.
https://climateranalyzer.org/clim/sst_daily/?dm_id=world2

³²²NBC News. '12 months of record ocean heat has scientists puzzled and concerned'. (2024).
<https://www.nbcnews.com/science/environment/oceans-record-hot-rcna143179>

Maaari bang ang micro- at nanoplastics sa karagatan ang hindi pa natutuklasang X-factor?

Ang pagsusuri sa posibilidad na ang micro- at nanoplastics ang pangunahing sanhi ng kasalukuyang pag-init ng mga karagatan ay nagpapakita ng isang seryosong kontradiksyon. Ang mga nanoplastics ay talagang nakakapinsala sa kakayahan ng karagatan na alisin ang init. Gayunpaman, hindi sila bumubuo ng thermal energy; pinipigilan lang nila itong umalis sa karagatan.

Sa nakalipas na 60 taon, ang average na lalim ng karagatan ay uminit ng 15 beses na mas mabilis kaysa sa nakaraang 10,000 taon^{324, 325}, at ang prosesong ito ay bumibilis lamang. Ang pag-unlad na ito ay bumibilis bawat taon. Ito ay nangangailangan ng isang malaking halaga ng enerhiya upang itaas ang temperatura sa kalaliman kung saan ang sikat ng araw ay hindi na tumagos sa^{326, 327}.

Sa turn, ang malakihang pag-ayos ng micro- at nanoplastics sa karagatan ay nagsimula nang medyo kamakailan - mga 30 taon na ang nakalilipas, habang ang pagbilis ng pag-init ng lalim ng karagatan ay naobserbahan sa nakalipas na 60 taon. Kaya, hindi maipaliwanag ng plastik ang pangmatagalan at pagtaas ng takbo ng pag-init ng gitnang kailaliman ng karagatan, na nagsimula nang matagal bago ang makabuluhang paglitaw ng mga pollutant na ito sa karagatan.

Hindi rin maipaliwanag ng solar radiation ang pag-init na ito, dahil ang mga sinag ng araw ay tumagos hanggang sa lalim na hanggang 200 m. Ang tubig ay maaaring painitin ng araw hanggang sa maximum na 700 m bilang resulta ng paghahalo ng³²⁸.

Upang mapainit ang malalim na mga layer kung saan hindi tumagos ang sinag ng araw, kinakailangan ang napakalaking halaga ng enerhiya. Nangangahulugan ito na ang init na naipon sa karagatan ay dapat magmula sa ibang pinagmulan, at ang pagkakaroon ng nanoplastics ay humahantong sa katotohanan na ang init na ito ay “naka-lock” sa loob ng karagatan.

Dahil hindi ipinapaliwanag ng pag-init ng araw ang exponential na pagtaas ng temperatura ng karagatan, iminungkahi na mayroong karagdagang pinagmumulan ng pag-init ng karagatan sa iba't ibang bahagi ng karagatan.

Vertical na pamamahagi ng mga anomalya sa temperatura

Ang pagsusuri sa data ng Argo sa mga global na pagkakaiba-iba ng temperatura sa iba't ibang lalim sa nakalipas na dalawang dekada ay nagsiwalat ng ilang mga anomalya sa temperatura na hindi

³²⁴Rosenthal, Y. et al. Pacific Ocean Heat Content During the Past 10,000 Years. *Science* 342, 617–621 (2013). <https://doi.org/10.1126/science.1240837>

³²⁵Columbia Climate School. 'Is Global Heating Hiding Out in the Oceans?'. (2013) <https://www.earth.columbia.edu/articles/view/3130> (Accessed May 10, 2025).

³²⁶NOAA Ocean Service. 'How far does light travel in the ocean?'. (n.d.) https://oceanservice.noaa.gov/facts/light_travel.html (Accessed May 10, 2025).

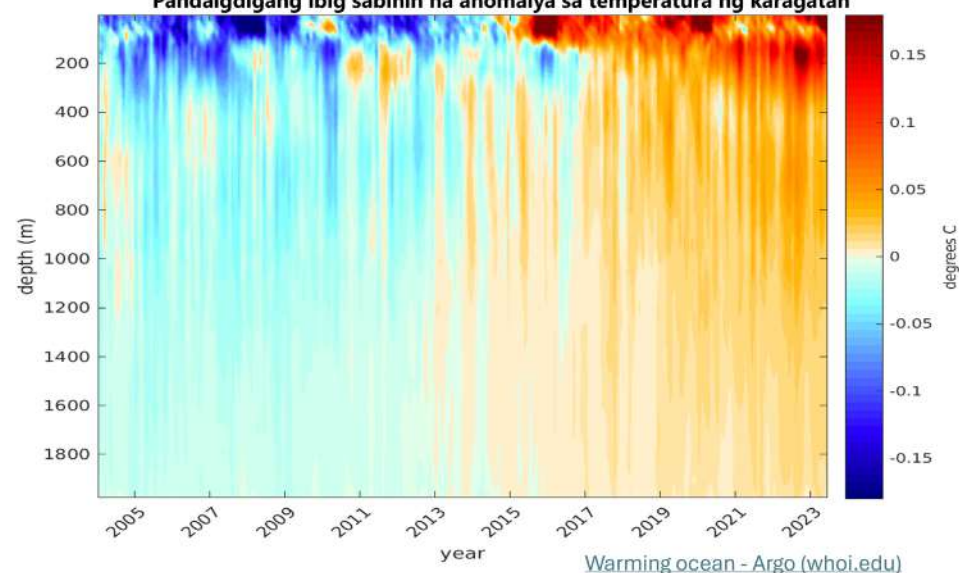
³²⁷NOAA Ocean Exploration. 'Marine Life'. (n.d.) <https://oceanexplorer.noaa.gov/explainers/marine-life.html> (Accessed May 10, 2025).

³²⁸Climate.gov. 'The role of the ocean in tempering global warming'. (2014)
<https://www.climate.gov/news-features/blogs/enso/role-ocean-tempering-global-warming> (Accessed May 10, 2025).

naaayon sa tradisyonal na modelo ng pababang paglipat ng init mula sa ibabaw patungo sa malalim na mga layer ng karagatan^{329, 330}.

Ang mga istatistikal na makabuluhang kaso ng pagbabaligtad ng gradient ng temperatura ay naitala, kapag ang mas maiinit na masa ng tubig ay matatagpuan sa ilalim ng medyo malamig na mga layer sa ibabaw (Larawan 129). Ang nasabing temperatura stratification ay pisikal na imposible na may eksklusibong pababang paglipat ng init mula sa ibabaw, dahil ang thermal energy, ayon sa mga batas ng mga Pisika, ay hindi kayang pagtagumpayan ang intermediate na malamig na layer mula sa itaas hanggang sa ibaba.

Ipinapakita ng data ng ARGO ang mga pagkakaiba-iba ng temperatura sa iba't ibang lalim sa nakalipas na 20 taon.
Pandaigdigang ibig sabihin na anomalya sa temperatura ng karagatan



Larawan 129. Mga anomalya sa temperatura ng pandaigdigang karagatan sa lalim na 0–1900 m mula noong 2004. Pinagmulan: Argo <https://www2.whoi.edu/site/argo/impacts/warming-ocean/>

Kinumpirma ng bagong pananaliksik ng mga siyentipiko mula sa unibersidad ng karagatan ng china³³¹ ang mga natuklasan na may mga thermal anomalya sa column ng tubig na hindi ipinapakita sa ibabaw ng karagatan. Napatunayan ng pananaliksik na ang ikatlong bahagi ng mga alon ng init sa dagat ay hindi nagpapakita ng kanilang sarili sa ibabaw ng karagatan, at halos kalahati ay hindi nagpapakita ng kanilang sarili sa lahat ng mga yugto ng siklo ng buhay. Ang taunang bilang ng mga ilalim ng ibabaw alon ng init ng dagat na ito ay makabuluhang tumataas bilang resulta ng pag-init ng karagatan sa nakalipas na tatlong dekada. Ang katotohanan na ang isang makabuluhang bahagi ng mga alon ng init sa dagat ay hindi nakikita sa ibabaw ng karagatan ay malinaw na nagpapahiwatig na ang mga ito ay hindi maaaring sanhi ng init mula sa atmospera.

³²⁹Johnson, Gregory C., et al. "Argo-Two Decades: Global Oceanography, Revolutionized." Annual Review of Marine Science, vol. 14, 2022, pp. 379–403.

<https://doi.org/10.1146/annurev-marine-022521-102008>.

³³⁰Wong, Annie P. S., et al. "Argo Data 1999–2019: Two Million Temperature-Salinity Profiles and Subsurface Velocity Observations From a Global Array of Profiling Floats." Frontiers in Marine Science, vol. 7, 2020, article 700. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00700>.

³³¹Sun, D., Li, F., Jing, Z., Hu, S., & Zhang, B. (2023). Frequent marine heatwaves hidden below the surface of the global ocean. Nature Geoscience, 16(12), 1099–1104. <https://doi.org/10.1038/s41561-023-01325-w>

Pag-aaral ng Mga Pinagmumulan ng Pag-init ng Sahig ng Karagatan

Ang pananaliksik at regular na pagsubaybay sa temperatura sa sahig ng karagatan ay napakabihirang at limitado ngayon. Sa loob ng mahabang panahon, hindi itinakda ng agham ang sarili nitong gawain ng pagsubaybay sa mga pagbabago sa gayong kalaliman. Ang mga modernong sistema ng pagsubaybay, tulad ng ARGO buoy network, ay nagbibigay-daan sa pagkolekta ng data mula sa 0.03% lamang ng lugar ng karagatan, habang ang karamihan sa mga buoy ay sumisid lamang sa kalahati ng karaniwan na lalim, nang hindi umaabot sa sahig ng karagatan³³².

Sa katotohanan, halos 3–3.5% lamang ng ibabaw ng sahig ng karagatan ang napag-aralan ng sangkatauhan³³³. Ito ay dahil sa maraming seryosong dahilan. Una, karamihan sa Karagatan ng Daigdig ay matatagpuan sa lalim na 3,000–6,000 m. Ang paglikha ng mga sasakyang malalim sa dagat na may kakayahang makatiis ng napakalaking presyon sa lalim na hanggang 6,000 m ay nangangailangan ng napakalaking mapagkukunang pinansyal at teknolohikal. Pangalawa, ang mga ekspedisyong mismo ay sobrang kumplikado at mahal: walong espesyal na aparato para sa mga naturang pag-aaral ang naitayo sa buong kasaysayan. Para sa kadahilanang ito, ngayon ay pinag-aralan natin ang espasyo sa ilang aspeto nang mas malalim kaysa sa pinakamalayang sulok ng karagatan ng daigdig.

Kasabay nito, nagiging mas malinaw na ang mga prosesong geological sa sahig ng karagatan ay maaaring magkaroon ng malaking papel sa pagbabago ng klima at balanse ng init ng mga karagatan. Mayroong milyun-milyong natatanging geological na bagay sa ibaba - mga bulkan, fault at hydrothermal na pinagmumulan na may napakalaking enerhiya. Gayunpaman, dahil sa kanilang hindi naa-access at hindi sapat na saklaw ng pagsubaybay, ang laki ng kanilang potensyal na impluwensya ay nananatiling higit na isang misteryo sa agham.

Sa kabila nito, ang mga pag-aaral sa sahig ng karagatan ay isinasagawa pa rin, at ang ilan sa mga ito ay nagpapahiwatig na ang tubig sa karagatan ay umiinit sa ilalim.

Kaya, **sa dalawang malalim na lugar ng Argentine Basin**³³⁴, sa lalim na higit sa 4,500 m, ang mga makabuluhang trend ng pag-init ay sinusunod: $0.02\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.01\text{ }^{\circ}\text{C}$ bawat dekada, sa panahon ng 2009–2019. Ito ay isang napakalaking halaga ng enerhiya na kailangan upang magpainit ng ganoong dami ng malamig na tubig sa ilalim.

Sa labas lamang ng baybayin ng kanlurang Antarctica, mayroong isang maanomalyang pag-init ng malalim na tubig ng Weddell Sea³³⁵, habang ang itaas na 700 m ng tubig ay halos hindi umiinit. Sa mas malalim na mga rehiyon, mayroong patuloy na pagtaas ng temperatura. Sa isang gilid, ang Weddell Sea ay naka-frame sa pamamagitan ng Kanlurang Antarctic Rift, sa kabilang banda - ng isang bulkan sa ilalim ng dagat na tagaytay na may South Sandwich Islands.

³³²Argo Program. "Mission". (n.d.) <https://argo.ucsd.edu/about/mission/>. (Accessed May 10, 2025).

³³³Bell, Katherine L. C., et al. "How Little We've Seen: A Visual Coverage Estimate of the Deep Seafloor." Science Advances, vol. 11, no. 19, 2025, eadp8602. <https://doi.org/10.1126/sciadv.adp8602>.

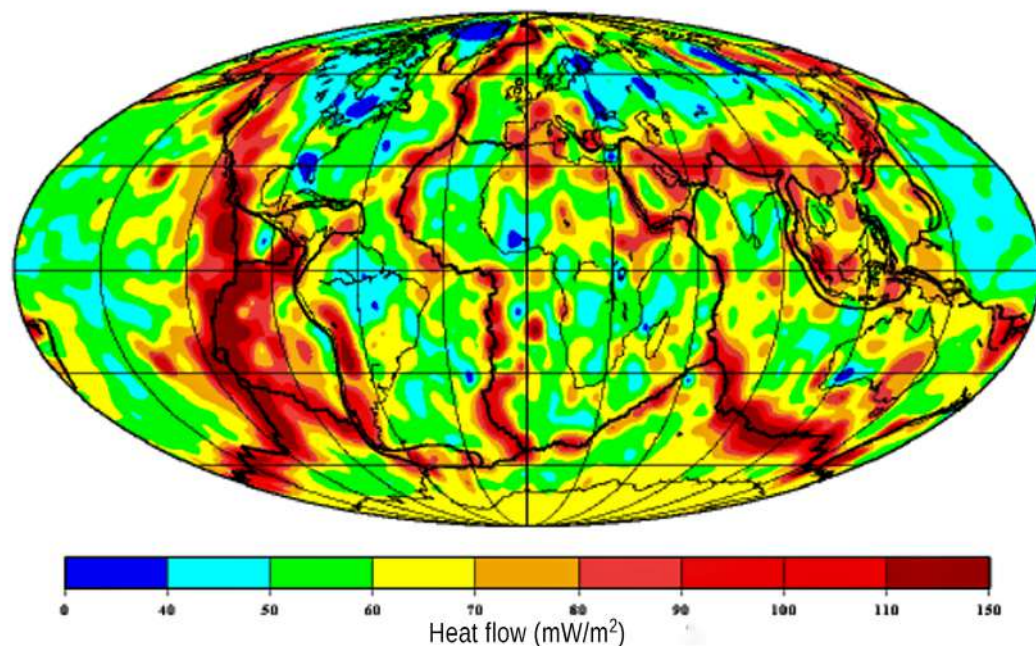
³³⁴Meinen, C. S., Perez, R. C., Dong, S., Piola, A. R. & Campos, E. Observed Ocean Bottom Temperature Variability at Four Sites in the Northwestern Argentine Basin: Evidence of Decadal Deep/Abyssal Warming Amidst Hourly to Interannual Variability During 2009–2019. Geophysical Research Letters 47, e2020GL089093 (2020). <https://doi.org/10.1029/2020GL089093>

³³⁵Strass, V. H., Rohardt, G., Kanzow, T., Hoppema, M. & Boebel, O. Multidecadal warming and density loss in the Deep Weddell Sea, Antarctica. Journal of Climate 33, 9863–9881 (2020). <https://doi.org/10.1175/jcli-d-20-0271.1>

Tungkulin ng daloy ng Init ng Geothermal, Tectonic na Proseso, at Pagputok ng Bulkan sa Sahig ng Karagatan

Sa konteksto ng mga naobserbahang anomalya sa deep-sea heating, kung saan ang impluwensya ng atmospera ay minimal, tila lohikal na isaalang-alang ang geothermal flow mula sa panloob ng Lupa bilang isang potensyal na mapagkukunan ng karagdagang init. Ayon sa kaugalian, sa mga modelo ng klima, ang daloy ng geothermal na nagmumula sa ibaba ay ipinapalagay na pare-pareho at katumbas ng humigit-kumulang 0.09 W/m^2 (o 90 mW/m^2)³³⁶, na ilang mga order ng magnitude na mas mababa kaysa sa solar flux^{337, 338}.

Gayunpaman, ang lumalaking pangkat ng siyentipikong data ay tumutukoy sa kahalagahan ng minamaliit na pinagmumulan ng init na ito. Ipinakita ng malalaking pag-aaral ng geothermal na ang enerhiya ng daloy ng init na tumatakas sa sahig ng karagatan ay nakasalalay sa edad ng Pang ibabaw ng karagatan: ito ay pinakamataas sa mga batang kumakalat na zone at pinakamababa sa lumang mga basin ng karagatan³³⁹ (Larawan 130). Ang ganitong mga lokal na anomalya ay maaaring makaimpluwensya sa patayong istraktura ng temperatura ng tubig, magpahina sa thermocline at magsulong ng paghahalo ng mga masa ng tubig, na nakakaapekto sa sirkulasyon, bioproductivity at maging ang katatagan ng mga glacier sa mga polar na rehiyon.



Larawan 130. Pandaigdigang representasyon ng daloy ng init.

Ilustrasyon mula sa artikulo: Vieira, F., & Hamza, V. M. pandaigdigang daloy ng init: Mga bagong pagtatantya gamit ang mga digital na mapa at Mga diskarte sa GIS// Internasyonal na journal ng daloy ng init sa lupa sa inilapat na geothermics. Vol. 1, n. 1. pp. 6–13.

³³⁶Pollack, H. N., Hurter, S. J. & Johnson, J. R. Heat flow from the Earth's interior: Analysis of the global data set. *Rev. Geophys.* 31, 267–280 (1993).

<https://doi.org/10.1029/93RG01249>

³³⁷Kopp, G. & Lean, J. L. A New, Lower Value of Total Solar Irradiance: Evidence and Climate Significance. *Geophysical Research Letters* 38, L01706 (2011).

<https://doi.org/10.1029/2010GL045777>

³³⁸World Energy Council. *World Energy Resources: Solar 2013*. (2013) <https://www.worldenergy.org/publications> (Accessed May 10, 2025).

³³⁹Khutorskoy, M. D., & Polyak, B. G. (2014). Reflection of contrasting geodynamic settings in the thermal field. *Georesources*, (2), 24–43.

Ang geothermal Daloy ng init ay ang dami ng thermal energy na nagmumula sa loob ng Earth sa pamamagitan ng isang unit ng ibabaw na lugar bawat unit ng oras, na sinusukat sa milliwatts bawat metro kuwadrado (mW/m^2).

Habang ang karaniwan na enerhiya ng daloy ng geothermal para sa mga kontinente ay $40\text{--}60 \text{ mW/m}^2$, at para sa sahig ng karagatan – humigit-kumulang 100 mW/m^2 , sa ilang mga rehiyon ay naitala ang mga halaga na ilang beses na mas mataas kaysa sa mga pigura na ito. Ang pinakamatinding halaga ng daloy ng init ng geothermal ay matatagpuan sa mga tectonically at mga lugar na aktibo sa bulkan halimbawa, sa mga zone ng mga tagaytay sa gitna ng karagatan at active rift zone ang daloy ay maaaring lumampas sa $200\text{--}1,000 \text{ mW/m}^2$ ³⁴⁰.

Lalo na napapansin ang mataas na daloy ng init sa mga zone ng hydrothermal field - ito ang mga zone ng mainit na likido na lumalabas sa sahig ng karagatan, kung saan ang temperatura ng tubig ay umabot sa $350\text{--}400 \text{ }^\circ\text{C}$. Ang mga system na ito ay bumubuo ng mga natatanging ecosystem at nagbibigay ng mga lokal na anomalya sa daloy ng init, na makabuluhang nakakaapekto sa thermal regime ng ilalim ng tubig.

Ang pangunahing pinag-aralan na zone ng tumaas na daloy ng init ng geothermal sa sahig ng karagatan ay mga tagaytay sa kalagitnaan ng karagatan – ito ang mga zone ng paggalaw ng lithospheric plate, kung saan nangyayari ang aktibong pagbuo ng bagong crust ng karagatan. Ang pandaigdigang sistemang ito ng mga tagaytay sa ilalim ng dagat ay may kabuuang haba na humigit-kumulang $60,000 \text{ km}$ ³⁴¹, na pumapalibot sa buong mundo tulad ng mga tahi sa isang baseball. Ang mga tagaytay sa gitna ng karagatan ay nailalarawan sa pamamagitan ng mataas na konsentrasyon ng mga hydrothermal vent, mga bulkan sa ilalim ng dagat, at mga aktibong fault, kung saan ang malaking halaga ng thermal energy mula sa mantle ng Earth ay pumapasok sa karagatan³⁴².

Ang daloy ng init sa mga zone na ito ay $10\text{--}100$ beses na mas mataas kaysa sa average para sa natitirang bahagi ng karagatan³³², na ginagawa itong mga pangunahing bahagi ng karagatan sa pagitan ng Earth at ang init ng Earth.

Si Arthur Viterito, isang propesor sa Unibersidad ng Maryland, ay nagtatag ng pagtaas sa bilang ng mga lindol sa sahig ng karagatan kasama ang mga tagaytay sa gitna ng karagatan mula noong 1995 (Larawan 131)³⁴³. Sa isang koepisyent ng ugnayan na 0.7 , ang pagtaas na ito ay tumutugma sa pagtaas ng temperatura sa buong mundo. Dagdag pa rito, ang pagtaas ng temperatura ay tumataas na may dalawang taong lag pagkatapos ng pagtaas ng aktibidad ng seismic. Ang pagtaas ng aktibidad ng seismic sa mga zone na ito ay nauugnay sa pagtaas ng magma, na bumubuo ng bagong oceanic crust.

³⁴⁰Polyak, B. G., & Khutorskoy, M. D. (2018). Heat flow from the Earth's interior as an indicator of deep-seated processes. *Georesources*, 20(4), Part 2, 366–376.

<https://doi.org/10.18599/grs.2018.4.366-376>

³⁴¹LaFemina, P. C. Plate Tectonics and Volcanism. in *The Encyclopedia of Volcanoes* (ed. Sigurdsson, H.) 65–92 (Academic Press, 2015).

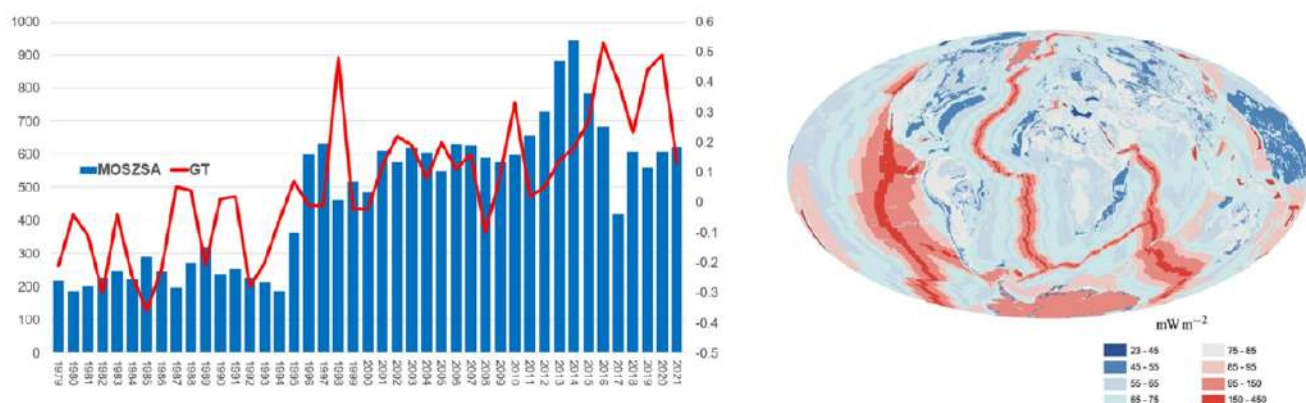
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385938-9.00003-1>

³⁴²Baker, E. T. & German, C. R. On the Global Distribution of Hydrothermal Vent Fields. in *Mid-Ocean Ridges: Hydrothermal Interactions Between the Lithosphere and Oceans* (eds German, C. R., Lin, J. & Parson, L. M.) 245–266 (American Geophysical Union, 2004).

³⁴³Argo Program. 'Mission'. (n.d.) <https://argo.ucsd.edu/about/mission/> (Accessed May 10, 2025).

³⁴³Viterito, A. 1995: An Important Inflection Point in Recent Geophysical History. *Int. J. Environ. Sci. Nat. Res.* 29, 556271 (2022).

<https://doi.org/10.19080/IJESNR.2022.29.556271>

Tumaas na bilang ng mga lindol sa sahig ng karagatan sa mga tagaytay sa gitna ng karagatan.

Larawan 131. Sabay-sabay na pagtaas ng bilang ng magnitude 4.0–6.0 na lindol sa sahig ng karagatan at global atmospheric na temperatura.

Pinagmulan: Viterito, A. (2022) Isang Mahalagang Inflection Point sa Kamakailang Kasaysayan ng geopisiko. internasyonal na Journal ng mga agham sa kapaligiran at likas na yaman, 29(5).

<https://doi.org/10.19080/ijesnr.2022.29.556271>

Bagama't kulang ang direktang pagsukat ng mga volume ng tumataas na magma, pinapayagan tayo ng pandaigdigang seismic monitoring network na hatulan ang sukat ng mga prosesong ito nang hindi direkta - sa pamamagitan ng bilang at tindi ng mga Kaganapan ng seismic, na tumataas anuman ang dami ng data ng seismic. Ayon sa hypothesis ni Viterito, ang seismic at aktibidad ng bulkan sa kahabaan ng mga tagaytay sa gitna ng karagatan ay humahantong sa pagtaas ng rate ng hydrothermal emissions at pag-init ng tubig, na humahantong naman sa greenhouse gas emissions at pag-init ng atmospera. Kaya, ipinakita ng Viterito na ang mga karagatan ay pinainit hindi lamang mula sa itaas, kundi pati na rin mula sa ibaba - dahil sa mga prosesong geological.

Ang bulkan sa ilalim ng tubig ay maaari ring maglaro ng isang mahalagang papel sa pagbuo ng thermal rehimen ng sahig ng karagatan. Ipinapahiwatig ng modernong data na ang tungkol sa 75% ng lahat ng pagsabog ng bulkan sa Earth ay nangyayari sa ilalim ng tubig³⁴⁴. Noong nakaraan, pinaniniwalaan na ang mga pagsabog sa ilalim ng tubig ay nangyayari na may mahinang pagbuhos ng lava at ang mga pagsabog ng paputok ay imposible dahil sa presyon ng haligi ng tubig. At kaya ipinapalagay na ang mga bulkan sa ilalim ng dagat ay hindi maaaring magpainit ng haligi ng tubig - ang umaagos na lava ay halos tumigas. Ngunit binago ng mga kamakailang pag-aaral ang pag-unawa sa mekanismo ng pagsabog ng bulkan sa ilalim ng dagat.

Ang presyon ng magma ay 10,000 - 30,000 bar, at ang presyon ng haligi ng tubig sa pinakamalalim na bahagi ng karagatan ay 1,000 bar lamang.

Kapag bumagsak ang magma, agad na kumukulo ang tubig kasama ng pagkawatak-watak ng mga molekula ng H₂O, na bumubuo ng isang gas-water cavity na may pressure na daan-daan o libu-libong bar³⁴⁵, na humahantong sa malalakas na pagsabog.

³⁴⁴Crisp, J. A. Rates of magma emplacement and volcanic output. J. Volc. Geotherm. Res. 20, 177–211 (1984). [https://doi.org/10.1016/0377-0273\(84\)90039-8](https://doi.org/10.1016/0377-0273(84)90039-8)

³⁴⁵Lyons, J.J., Haney, M.M., Fee, D. et al. Infrasound from giant bubbles during explosive submarine eruptions. Nat. Geosci. 12, 952–958 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41561-019-0461-0>

Ang ganitong mga pagsabog ay sinamahan ng paglabas ng tephra at hydrotherms - higitang mga jet ng sobrang init na tubig, ang dami nito ay maaaring umabot sa katumbas ng 40 milyong Olympic swimming pool. Ang mga naturang emisyon ay maaaring makagambala sa thermal equilibrium ng karagatan hindi lamang sa lokal, kundi pati na rin sa buong mundo.

Ang pananaliksik mula sa Unibersidad ng Leeds ay nagsiwalat ng kilometre-wide volcanic tephra fields sa sahig ng karagatang pasipiko³⁴⁶, na nagpapatunay ng malalakas na pagsabog sa ilalim ng tubig. Ang isang solong naturang pagsabog ay maaaring maglabas ng init sa pagkakasunud-sunod ng 1 TW, na dalawang beses sa pagkonsumo ng enerhiya ng Estados Unidos.



Ang kontribusyon ng mga paputok na pagsabog sa pag-init ng karagatan ay kinumpirma ni Propesor Bernd Siemowski mula sa Julius-Maximilians-University sa Bavaria³⁴⁷:

“Sa ilalim ng tubig na pagputok ng lava, ang init ay inililipat mula sa lava patungo sa tubig sa loob ng medyo mahabang panahon. Gayunpaman, sa mga paputok na pagsabog, ang magma ay disintegrate sa maliliit na particle. Ito ay maaaring lumikha ng ganoong kalakas na thermal pulses sa mga lokal na thermal pulse. o kahit sa buong mundo.”³⁴⁸

Ayon sa kasalukuyang mga pagtatantya, ang bilang ng hydrothermally aktibong pagbuo sa ilalim ng tubig ay umaabot mula 100 libo hanggang 10 milyon^{349,350}, na nagmumungkahi na ang kontribusyon ng hydrothermal na aktibidad sa balanse ng init ng karagatan ay malamang na minamaliit. Ang mga paputok na pagsabog ng magma ay humahantong sa pagbuo ng malalakas na thermal pulse na maaaring makagambala sa mga thermal currents sa mga karagatan sa isang lugar. Gayunpaman, dahil sa laki ng karagatan, kahit na ang gayong malakas na pagsabog sa ilalim ng tubig ay hindi sapat upang mapainit ito. Ang mga bulkan ay hindi matatagpuan sa lahat ng dako, at ang kanilang mga pagsabog ay episodiko, at ang kanilang enerhiya ay hindi sapat upang mapainit ang buong karagatan. Gayunpaman, maaaring sapat na ito upang magdulot ng mga lokal na alon ng init sa karagatan.

Ang isang partikular na halimbawa ng naturang mga lokal na thermal anomaly ay mga marine heat wave, iyon ay, lokal na pinainit na tubig sa karagatan sa loob ng mahabang panahon. Ang isa pang pangalan para sa kanila ay blobs. Ito ay mga higitang lugar ng tubig sa ibabaw na may abnormal na mataas na temperatura. Mula noong 1995, ang bilang ng mga blobs ay tumaas nang malaki ng³⁵¹, at nagsimula silang lumitaw nang mas madalas sa iba't ibang bahagi ng karagatan ng daigdig kabilang ang baybayin ng New Zealand, Southwest Africa, at sa timog Indian Ocean.

³⁴⁶Pegler, S.S., Ferguson, D.J. Rapid heat discharge during deep-sea eruptions generates megaplumes and disperses tephra. Nat Commun 12, 2292 (2021).

<https://doi.org/10.1038/s41467-021-22439-y>

³⁴⁷Dürrig, T., White, J.D.L., Murch, A.P. et al. Deep-sea eruptions boosted by induced fuel–coolant explosions. Nat. Geosci. 13, 498–503 (2020).

<https://doi.org/10.1038/s41561-020-0603-4>

³⁴⁸University of Würzburg. How Volcanoes Explode in the Deep Sea. (2020) <https://www.uni-wuerzburg.de/en/news-and-events/news/detail/news/how-volcanoes-explode-in-the-deep-sea> (accessed 1 May 2025).

³⁴⁹Baker, E. T. et al. How many vent fields? New estimates of vent field populations on ocean ridges from precise mapping of hydrothermal discharge locations. Earth Planet. Sci. Lett. 449, 186–196 (2016). <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2016.05.031>

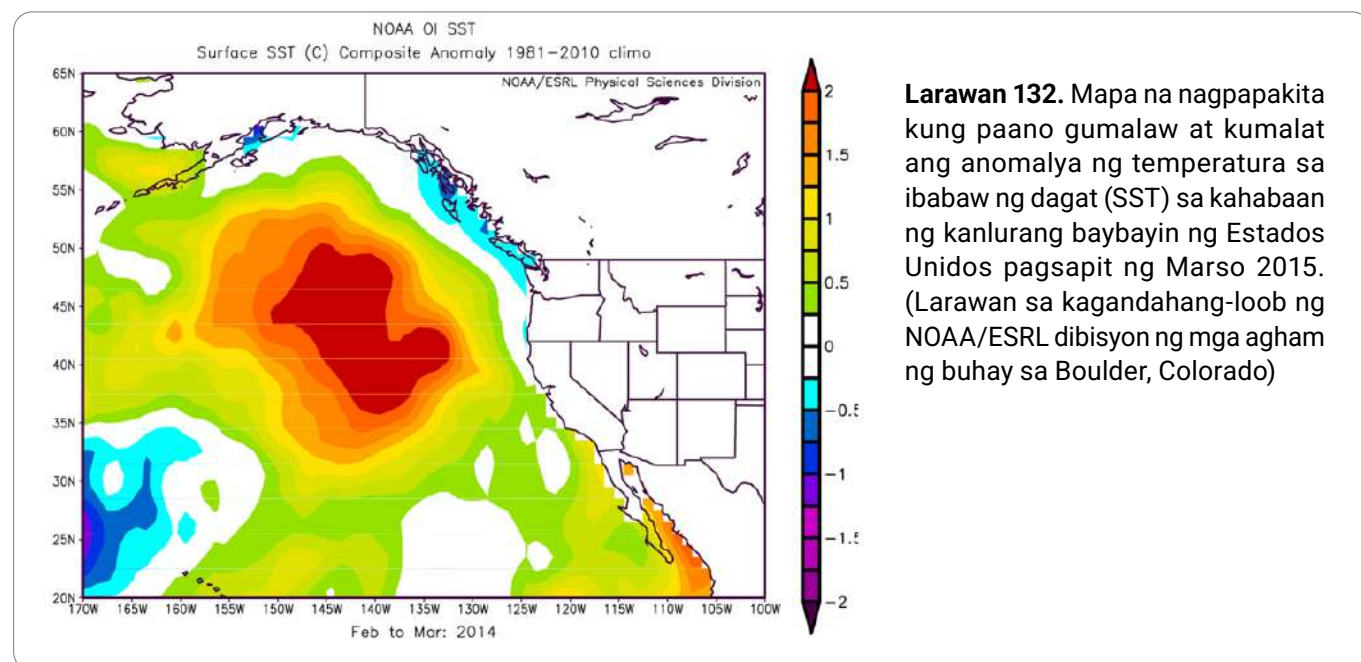
³⁵⁰Science News Explores. Seafloor hosts surprising number of deep-sea vents. (2016)

<https://www.snews.org/article/seafloor-hosts-surprising-number-deep-sea-vents> (Accessed May 10, 2025).

³⁵¹Laufkötter, C., Zscheischler, J. & Frölicher, T. L. High-impact marine heatwaves attributable to human-induced global warming. Science 369, 1621–1625 (2020). <https://doi.org/10.1126/science.aba0690>

Isa sa pinakasikat at pinakamalaking blobs na nabuo sa Gulpo ng Alaska noong 2013 at mabilis na kumalat sa Karagatang Pasipiko. Ang lawak nito ay higit sa 4 na milyong km² (na mas malaki kaysa sa lugar ng India), at ang temperatura ng tubig sa ilang mga lugar ay 5–6 °C sa itaas ng Karaniwan (Larawan 132). Ang patak ay lumipat sa karagatan mula Alaska hanggang Mexico sa loob ng tatlong taon, hanggang 2016. Ang hindi pangkaraniwang bagay na ito ay negatibong nakaapekto sa marine ecosystem at klima sa rehiyon.

Ang patak ay malamang na sanhi ng aktibong bulkan sa baybayin ng Alaska at ng magmatic plume na Cobb³⁵², na nagpainit sa tubig sa sahig ng karagatan at naging dahilan upang tumaas ito sa napakalaking dami.

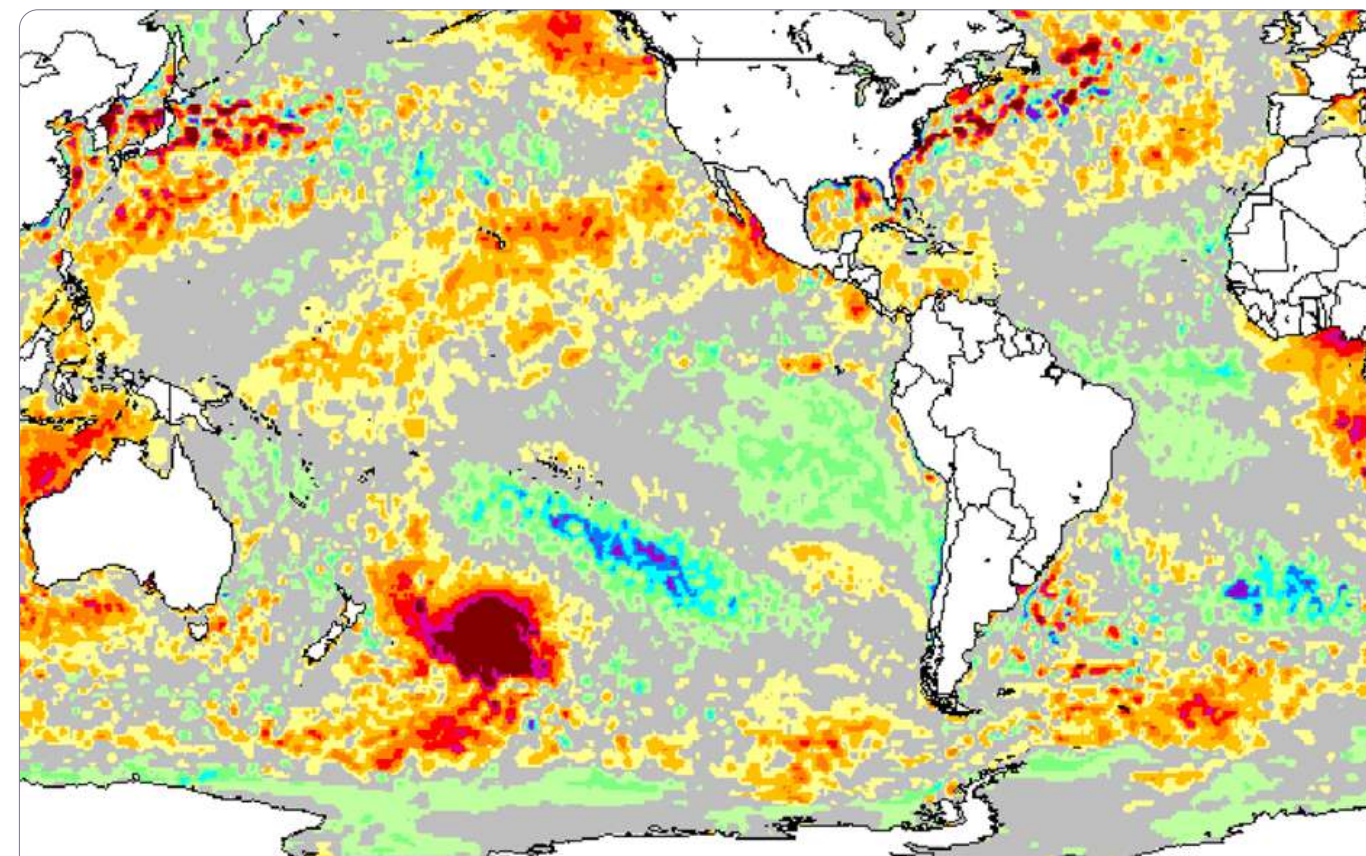


Silangan ng New Zealand, sa karagatang timog pasipiko, lumitaw ang isang patak noong Disyembre 2019 na 6°C na mas mainit kaysa sa karaniwan sa ilang partikular na araw. Ang patak ay higit sa 1,000,000 km² sa lugar, katumbas ng 1.5 beses ang laki ng Texas o apat na beses ang laki ng New Zealand (Larawan 133). Noong panahong iyon, iniulat na ito ang pinakamalaking patak sa mga karagatan sa mundo. Sa katunayan, ito ang pangalawang pinakamalaking blob na naitala sa rehiyon.

66

James Renwick, isang propesor sa Departamento ng heograpiya, kapaligiran, at agham sa lupa sa Victoria University of Wellington, ay nagsabi na:

"Ito ang pinakamalaking warming zone sa planeta. Ito ay karaniwang nasa 15°C, at ito ay kasalukuyang nasa 20°C."³⁵³



Larawan 133. Anomalya sa ibabaw ng dagat sa South Pacific noong ika-25 ng Disyembre 2019.

Pinagmulan: Ang Tagapangalaga. Mainit na patak: malawak na bahagi ng maligamgam na tubig sa baybayin ng New Zealand ay nagpapagulo sa mga siyentipiko. (2019)

<https://www.theguardian.com/world/2019/dec/27/hot-blob-vast-and-unusual-patch-of-warm-water-off-new-zealand-coast-puzzles-scientists> (na-access noong Mayo 11, 2025)

Ang malamang na sanhi ng pagbuo ng patak na ito ay ang aktibidad ng isang sinaunang talampas ng bulkan sa baybayin ng New Zealand³⁵⁴.

³⁵²Chadwick, J., Keller, R., Kamenov, G., Yagodinski, G. & Lupton, J. The Cobb hot spot: HIMU-DMM mixing and melting controlled by a progressively thinning lithospheric lid. *Geochem. Geophys. Geosyst.* 15, 3107–3122 (2014). <https://doi.org/10.1002/2014gc005334>

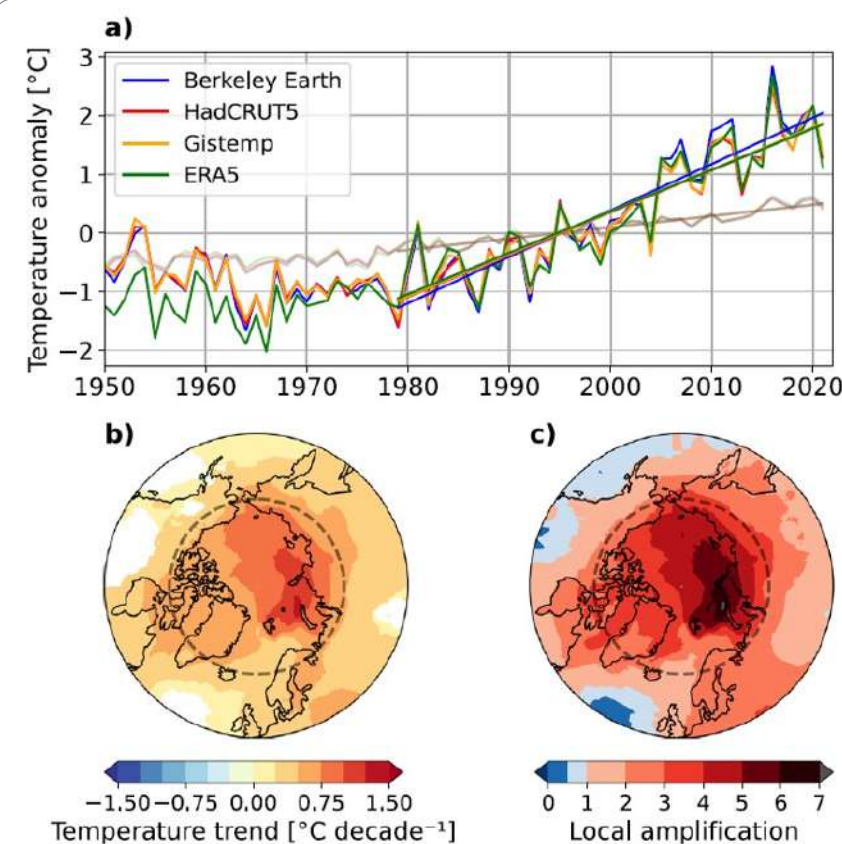
³⁵³The Guardian. Hot blob: vast patch of warm water off New Zealand coast puzzles scientists. (2019)

<https://www.theguardian.com/world/2019/dec/27/hot-blob-vast-and-unusual-patch-of-warm-water-off-new-zealand-coast-puzzles-scientists> (Accessed May 10, 2025).

³⁵⁴Gase, A. et al. Subducting volcanoclastic-rich upper crust supplies fluids for shallow megathrust and slow slip. *Sci. Adv.* 9, eadh0150 (2023).

<https://doi.org/10.1126/sciadv.adh0150>

Ang isa pang partikular na halimbawa ng impluwensya ng geothermal heat sa pagtaas ng temperatura ng tubig sa karagatan dahil sa mga proseso ng magmatic ay ang mga anomalya sa pag-init sa mga dagat ng Arctic sa baybayin ng Siberia. Ayon sa pananaliksik mula 2022, ang Siberian Arctic ay umiinit ng halos apat na beses na mas mabilis kaysa sa globo, na isang mas mataas na ratio kaysa sa naunang isinasalang-alang sa mga modelo ng klima at naging lubhang hindi inaasahan para sa mga siyentipiko³⁵⁵ (Larawan 134).

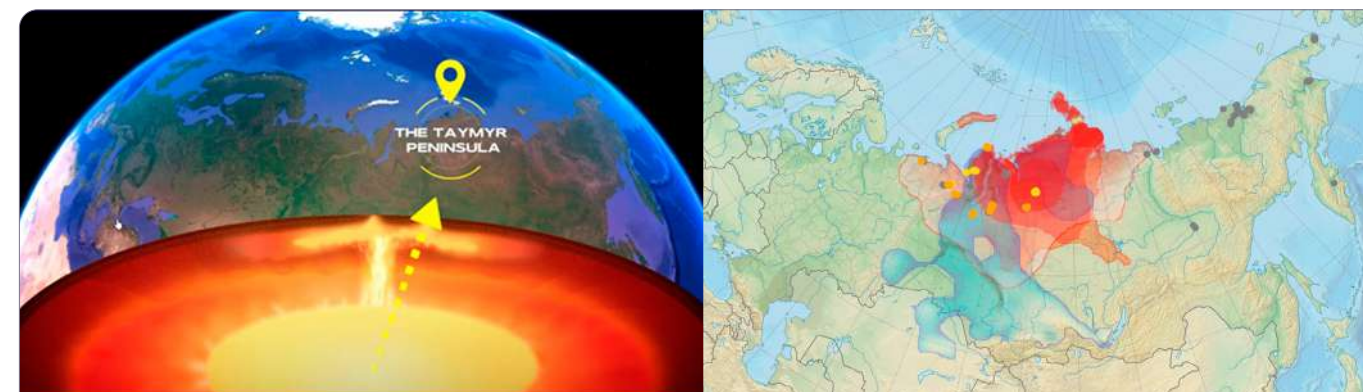


Larawan 134. Ebolusyon ng average na taunang temperatura sa Arctic. (a) Ang ibig sabihin ng taunang mga anomalya sa temperatura sa Arctic 66.5°–90° N (madilim na kulay) at sa buong mundo (maliwanag na kulay) para sa panahon ng 1950–2021, na nagmula sa iba't ibang mga database ng pagmamaisid. Ang mga anomalya sa temperatura ay kinakalkula kaugnay ng karaniwang 30-taong panahon 1981–2010. Ang may tuldok na linya sa mga graph (b) at (c) ay tumutukoy sa Sirkulo Artiko (latitude 66.5° N).

Pinagmulan: Rantanen, M., Karpechko, A.Y., Lipponen, A. et al. Ang Arctic ay umiinit ng halos apat na beses na mas mabilis kaysa sa globo mula noong 1979. *Commun Earth Environ* 3, 168 (2022). <https://doi.org/10.1038/s43247-022-00498-3>

Sa rehiyong ito ng mundo, sa lugar ng Taimyr Peninsula, nagiging aktibo ang Siberian magmatic plume, mabilis na tumataas ngayon sa rehiyon kung saan pumutok ang Siberian Traps 250 milyong taon na ang nakalilipas. At ang lahat ay nagpapahiwatig na ang ulo ng balahibo ay kasalukuyang aktibong nagwawasak sa East Siberian Craton at ang magma ay kumakalat sa ilalim ng buong lugar nito (Larawan 135). Ayon sa mga paunang pagtatantya, ang lugar ng daloy ng magma na kumakalat sa ilalim ng Siberia ay maaaring umabot sa 2,500–3,000 km ang lapad, na maihahambing sa lugar ng Australia.

³⁵⁵Rantanen, M., Karpechko, A.Y., Lipponen, A. et al. The Arctic has warmed nearly four times faster than the globe since 1979. *Commun Earth Environ* 3, 168 (2022). <https://doi.org/10.1038/s43247-022-00498-3>



Larawan 135. Lokalisasyon ng lokasyon ng plume batay sa mga resulta ng iba't ibang pag-aaral

Mahalagang tandaan na ang gayong matinding pag-init ng mga dagat ng Arctic ay nangyayari nang eksakto sa lugar ng Taimyr Peninsula. Ang gayong anomalya sa aquatic zone ng Siberia ay maaaring ipaliwanag sa pamamagitan ng katotohanan na ang pang-ibabaw na lupa ng karagatan ay mas payat at nagsasagawa ng init nang mas mabilis, at ang tubig ay may mas mataas na kapasidad ng init kaysa sa kapaligiran. Samakatuwid, ito ay tubig sa karagatan na masinsinang nag-iipon at nagpapanatili ng init mula sa tumataas na magmatic plume, sa kabila ng katotohanan na ang pagtaas nito ay nangyayari sa ilalim ng continental crust sa isang relatibong distansya mula sa baybayin.



Maaari kang magbasa nang higit pa tungkol sa Siberian magmatic plume at ang epekto nito sa sistema ng klima, pati na rin ang mga banta ng geological na istraktura at mga solusyon na ito sa ulat na

“SA BANTA NG ISANG MAGMATIC PLUM BREAKTHROUGH SA SIBERIA AT MGA PARAAN UPANG SOLUSYON ANG PROBLEMA NA ITO”

Kung pinagsama-sama, ang mga datos na ito ay nagpapahiwatig na ang mga prosesong geological sa sahig ng karagatan ay isang makabuluhang salik sa pag-init ng mundo. Ang pagtaas ng aktibidad ng seismic at bulkan sa sahig ng karagatan ay nauugnay sa tumataas na temperatura sa buong mundo, na nagmumungkahi ng posibleng sanhi-at-epekto na relasyon. Ang mga pagsabog sa ilalim ng tubig, lalo na ang mga sumasabog, ay maaaring lumikha ng malalakas na thermal pulse na nakakagambala sa lokal at maging sa pandaigdigang balanse ng init.

Ang mga hydrothermal system at mga proseso ng bulkan ay bumubuo ng mga malalaking anomalya, tulad ng mga patak, na may malaking epekto sa mga ekosistema at klima ng karagatan, habang ang mga prosesong magmatic ay nagdudulot ng abnormal na pag-init ng mga dagat ng Arctic. Kaya, ang karagatan ay pinainit hindi lamang mula sa itaas, sa ilalim ng impluwensya ng atmospera, kundi pati na rin mula sa ibaba, dahil sa mga dinamikong proseso sa loob ng lupa. Nangangailangan ito ng rebisyon ng mga kasalukuyang modelo ng klima at isang mas malalim na pag-aaral ng aktibidad sa ilalim ng dagat na geological bilang isang mahalagang bahagi sa pangkalahatang balanse ng init ng planeta.

Gayunpaman, mayroong isang tanong na may mahalagang kahalagahan: bakit may pagtaas sa mga prosesong magmatic at tectonic sa Earth sa panahong ito?

Isang maikling paglalarawan ng geodynamic na modelo ng pagbabago ng klima sa Earth sa kasalukuyang panahon

Sa nakalipas na 30 taon, ang Earth ay nakakaranas ng isang hindi pa naganap at kasabay na pagtaas hindi lamang sa pagbabago ng klima, kundi pati na rin sa mga anomalya sa lahat ng mga layer ng planeta at ang mga geophysical parameter nito. Exponential ang paglago ng mga pagbabagong ito. Ang isang komprehensibong pagsusuri ng siyentipikong data ay nagpapakita na ang pangunahing dahilan para dito ay ang mga astronomical cycle na umuulit tuwing 12,000 tao.

Ang hypothesis tungkol sa impluwensya ng mga cosmic na kadahilanan ay nakumpirma ng mga katulad na pagbabago na nagsimulang mangyari nang sabay-sabay sa Earth sa iba pang mga planeta ng Solar System at kanilang mga satellite. Halimbawa, sa Uranus³⁵⁶, Jupiter³⁵⁷ at Venus³⁵⁸, ang bilis ng hangin ay tumataas at ang mga hurricane zone ay lumalawak. Ang Mars ay nakakaranas ng pagtunaw ng mga takip ng yelo sa mga pole³⁵⁹, at ang aktibidad ng bulkan sa Venus³⁶⁰ at Mars ay patuloy na tumataas ng³⁶¹. Bilang karagdagan, ang Mars, isang patay na planeta, ay nakakaranas ng pagtaas ng lindol³⁶², na nagpapahiwatig ng paglitaw ng maanomalyang aktibidad sa loob nito.

Ang mga kritikal na pagbabago sa sistema ng Earth ay nagsimulang magpakita ng kanilang mga sarili noong 1995, nang naitala ang mga makabuluhang geopisiko na anomalya, tulad ng isang matalim na pagbilis ng pag-ikot ng Earth, isang pagbabago sa axis nito, at ang simula ng isang drift ng hilagang magnetic pole (Larawan 136).

³⁵⁶de Pater, I. et al. Record-breaking storm activity on Uranus in 2014. *Icarus* 252, 121-128 (2015). <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2015.01.008>

³⁵⁷Wong, M. H. et al. Evolution of the Horizontal Winds in Jupiter's Great Red Spot From One Jovian Year of HST/WFC3 Maps. *Geophysical Research Letters* 48, e2021GL093982 (2021). <https://doi.org/10.1029/2021GL093982>

³⁵⁸Khatuntsev, I. V. et al. Cloud level winds from the Venus Express Monitoring Camera imaging. *Icarus* 226, 140-158 (2013).

<https://doi.org/10.1016/j.icarus.2013.05.018>

³⁵⁹Sori, M. M. & Bramson, A. M. Water on Mars, With a Grain of Salt: Local Heat Anomalies Are Required for Basal Melting of Ice at the South Pole Today. *Geophysical Research Letters* 46, 1222-1231 (2019). <https://doi.org/10.1029/2018GL080985>

³⁶⁰Encrenaz, T. et al. HDO and SO₂ thermal mapping on Venus - IV. Statistical analysis of the SO₂ plumes. *A&A* 623, A70 (2019).

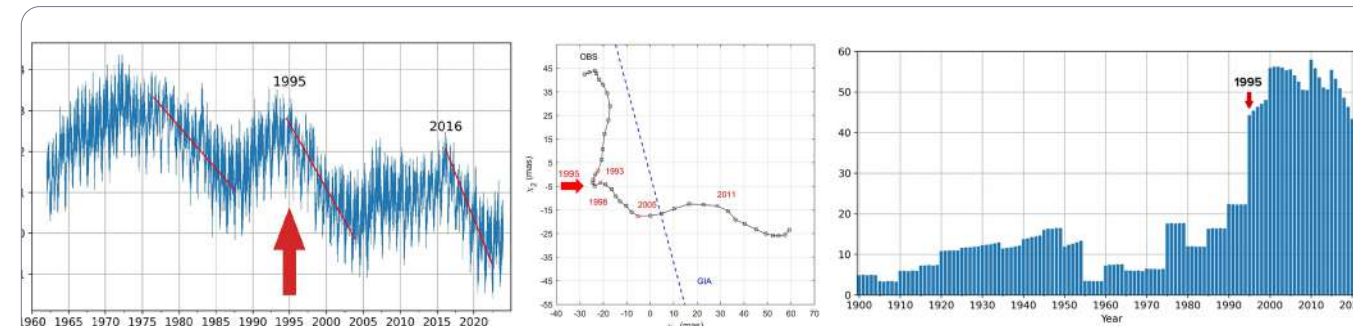
<https://doi.org/10.1051/0004-6361/201833511>

³⁶¹Broquet, A. & Andrews-Hanna, J. C. Geophysical evidence for an active mantle plume underneath Elysium Planitia on Mars. *Nat Astron* (2022).

[doi:10.1038/s41550-022-01836-3](https://doi.org/10.1038/s41550-022-01836-3) <https://doi.org/10.1038/s41550-022-01836-3>

³⁶²Fernando, B. et al. A Tectonic Origin for the Largest Marsquake Observed by InSight. *Geophysical Research Letters* 50, e2023GL103619 (2023).

<https://doi.org/10.1029/2023GL103619>



Isang biglaan at dramatikong pagbilis ng pag-ikot ng planeta, gaya ng naitala ng Paris sentro ng oryentasyon ng obserbatoryo sa lupa.

Pinagmulan ng data:
IERS Earth Orientation Center ng Paris Observatory
Haba ng araw – Mga parameter ng oryentasyon sa Earth.
https://datacenter.iers.org/singlePlot.php?plotname=EOPC04_14_62-NOW_IAU1980-LOD&id=223

Larawan 136. Mga pagbabago sa geophysical parameters ng Earth noong 1995

Mga anomalyang pagbabago sa axis ng pag-ikot ng Earth: isang matalim na pagbabago sa direksyon ng pag-anod nito at isang 17-tiklop na pagtaas sa bilis nito.

Pinagmulan: Deng, S., Liu, S., Mo, X., Jiang, L., & Bauer Gottwein, P. Polar Drift noong 1990s
Ipinaliwanag ng mga Pagbabago sa Pag-iimbak ng Tubig sa Terrestrial. *Geophysical Research Letters*, 48, e2020GL092114 (2021). <https://doi.org/10.1029/2020gl092114>

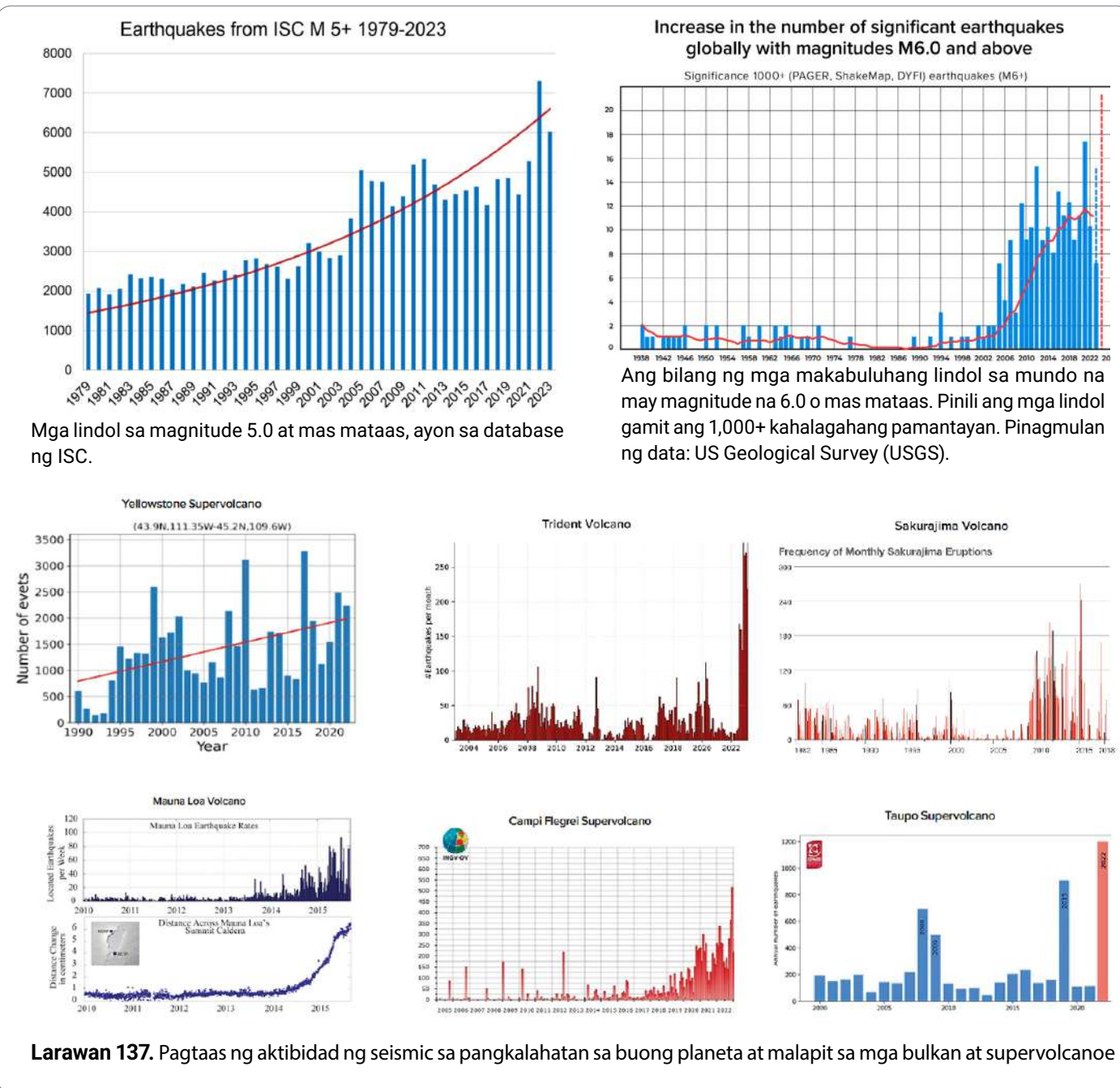
Ang north magnetic pole, na dati ay gumagalaw sa bilis na 10 km/year, biglang bumilis sa 55 km/year at binago ang trajectory nito patungo sa Taimyr Peninsula sa Siberia.

Pinagmulan ng data:
NOAA data sa posisyon ng North Magnetic Pole
<https://www.ncei.noaa.gov/products/wandering-geomagnetic-poles>

Ang mga anomalyang ito ay nagpapahiwatig ng malalalim na pagbabago sa core ng Earth, na nangangailangan ng quadrillions ng mas maraming paggasta sa enerhiya kaysa sa ginawa ng sangkatauhan sa buong buhay ng sibilisasyon. Ang sanhi ay isang panlabas na cosmic na epekto na nakakaapekto sa core ng Earth, pati na rin sa mga kaibuturan ng iba pang mga planeta sa solar system. Ang panlabas na epekto na ito ay nagpapataas ng pagkatunaw ng mantle, na humahantong sa pagtaas nito nang mas malapit sa ibabaw. Bilang resulta, inilunsad ang isang chain reaction: tumataas ang aktibidad ng bulkan at seismic, tumataas ang pag-init mula sa kalaliman, at tumataas ang mga natural na sakuna sa buong mundo.

Mula noong 1995, nagkaroon ng kapansin-pansing pagtaas sa aktibidad ng seismic, na nailalarawan sa pamamagitan ng pagtaas sa dalas, lakas, at enerhiya ng mga lindol. Ang trend na ito ay kapansin-pansin kapwa sa lupa at sa karagatan, kabilang ang mga rehiyon kung saan halos hindi naitala ang aktibidad ng seismic. Ang lahat ng ito ay nagpapahiwatig ng isang pandaigdigang sukat ng pagbabago. Mahalagang tandaan na ang pagtaas sa bilang ng mga lindol na may magnitude na 5.0 pataas ay hindi nauugnay sa pagtaas ng network o sensitivity ng mga sensor, ngunit aktwal na sumasalamin sa mga pagbabago sa geodynamics ng Earth. Ayon sa pinagsamang data ng International Seismological Center, ang bilang ng mga naturang lindol ay tumaas nang malaki sa nakalipas na 25 taon at patuloy na tumataas (Larawan 137).

Bilang karagdagan, ang aktibidad ng seismic ay tumataas malapit sa mga bulkan, kabilang ang mga supervolcano tulad ng Yellowstone sa USA, Campi Phlegraean sa Italy³⁶³ at Taupo sa New Zealand³⁶⁴, pati na rin ang iba pang mga bulkan na sumabog sa nakaraang 12,000-taong cycle (Larawan 137).



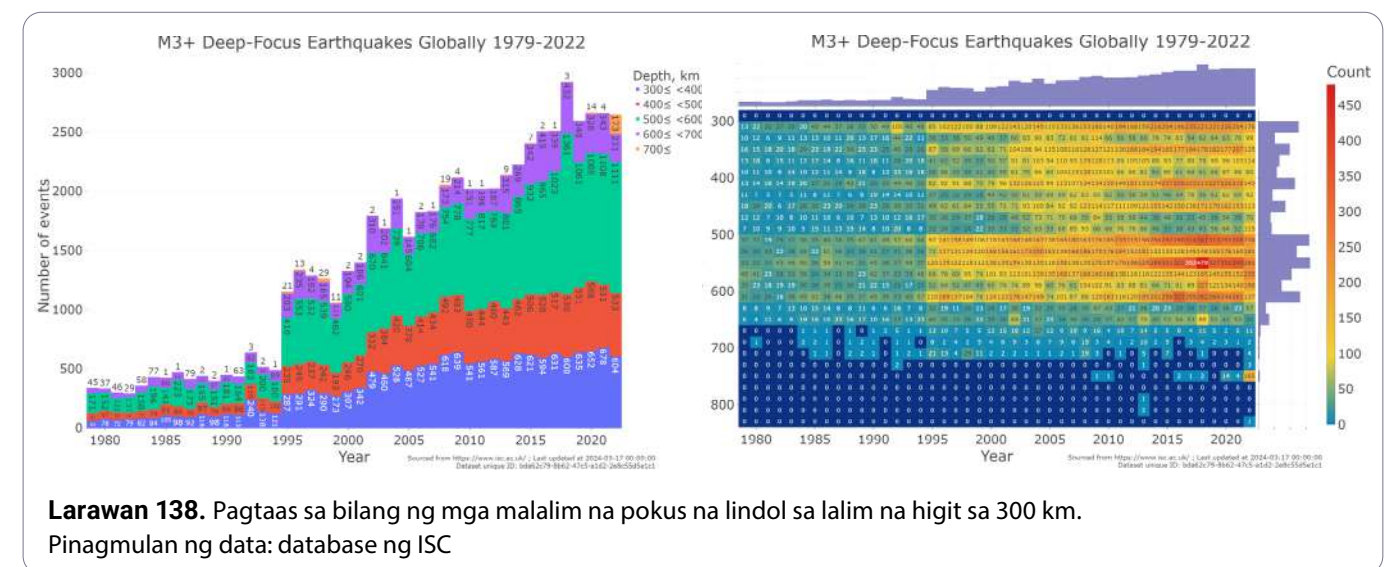
Ang mga pagsabog ng bulkan ay naitala nang higit pa at higit pang mga araw sa isang taon, at ang inilabas na lava ay kadalasang may mga anomalyang katangian: ito ay sobrang init at may kakaibang komposisyon ng kemikal, katangian ng magma na nagmumula sa malalalim na patong ng mantle.

³⁶³Fanpage.it. At Campi Flegrei 675 earthquakes in April 2023: it is the month with the most tremors in the last 20 years. (2023). <https://www.fanpage.it/napoli/campi-flegrei-675-terremoti-aprile-2023> (Accessed May 1, 2025).

³⁶⁴GeoNet. Strong M5.6 earthquake consistent with continued minor volcanic unrest at Taupō. Volcanic Alert Level remains at Level 1. (2022). <https://www.geonet.org.nz/yabs/7tu66lDztDnlaYDG0LYSgl> (Accessed May 1, 2025).

Ang partikular na pag-aalala ay ang pagtaas ng bilang ng mga malalim na nakatutok na lindol na nagaganap sa lalim na higit sa 300 km, kung minsan ay umaabot sa 750 km sa ibaba ng ibabaw ng Earth. Ang mga phenomena na ito ay hindi nangyayari sa pang ibabaw ng lupa, ngunit sa mantle, kung saan ang materyal ng mantle ay hindi nawasak, ngunit papangitin tulad ng plasticine, na ginagawang hindi pangkaraniwan ang likas na katangian ng naturang mga lindol. Dahil ang mga lindol na ito ay nangyayari sa ilalim ng mga kondisyon ng matinding presyur at mataas na temperatura, mahihinuha na ang malalakas na pagsabog na ito sa mantle ay maihahambing sa enerhiya sa sabay-sabay na pagpapasabog ng maraming atomic bomb sa loob ng mantle ng Earth.

Bilang karagdagan, ang malalim na pokus na mga lindol ay kadalasang nagpapasimula ng malalakas na pagyanig ng seismic sa pang ibabaw ng lupa, na nagpapataas ng kanilang mapanirang epekto. Mula noong 1995, nagkaroon ng mabilis na pagtaas sa bilang ng mga ganoong malalalim na lindol (Larawan 138), na kasabay ng iba pang mga geodynamic na anomalya na nagsimula sa parehong panahon. Ang pagtaas sa bilang ng mga intra-mantle na pagsabog na ito ay nagpapahiwatig ng pagtaas ng enerhiya sa kailaliman ng planeta at matinding pagkatunaw ng mantle, na maaaring humantong sa malalaking pagsabog ng bulkan.



Sa ilalim ng impluwensya ng mga puwersang sentripugal, ang natunaw na magma sa mantle ay aktibong tumataas sa ibabaw ng Earth mula noong 1995, na nagpapabagal at nagpapatindi sa pag-init ng lithosphere mula sa loob ng higit sa karaniwan. Ang pagtaas ng magma na ito ay humahantong sa pagtaas ng geothermal flow mula sa loob ng planeta at pinapagana ang magmatic plumes sa ilalim ng mga glacier ng West Antarctica, Central Greenland at Siberia. Bilang resulta, ang mga glacier at permafrost ay nagsisimulang matunaw nang mabilis mula sa ibaba pataas^{365, 366, 367}.

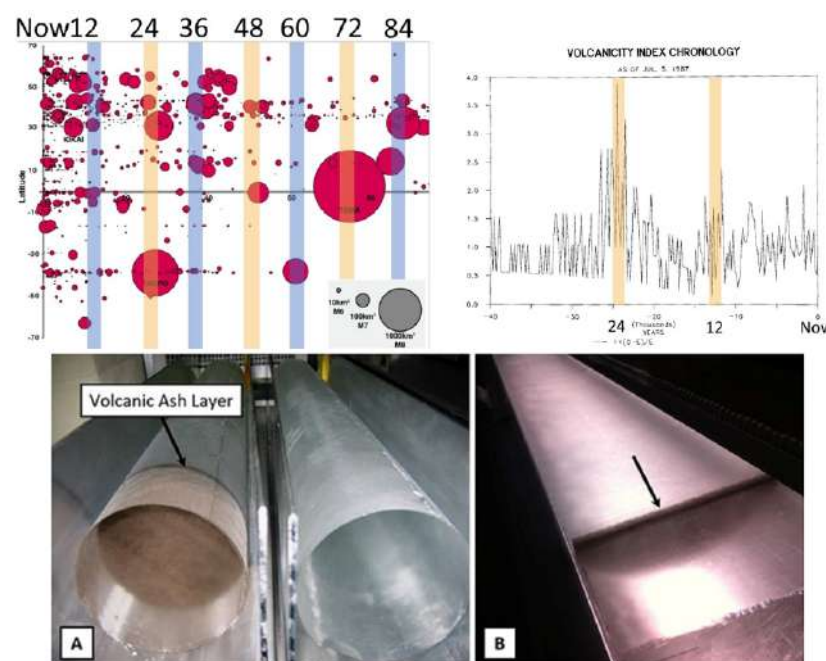
Kaya naman, ang dahilan ng pag-init ng karagatan ay ang tumataas na magma, na lalong nagpapainit sa pang ibabaw na lupa ng karagatan, na mas manipis at mas mahina kumpara sa continental crust.

³⁶⁵Rogozhina, I. et al. Melting at the base of the Greenland ice sheet explained by Iceland hotspot history. *Nature Geosci* 9, 366–369 (2016). <https://doi.org/10.1038/ngeo2689>

³⁶⁶Van Der Veen, C. J., Leftwich, T., Von Frese, R., Csatho, B. M. & Li, J. Subglacial topography and geothermal heat flux: Potential interactions with drainage of the Greenland ice sheet. *Geophysical Research Letters* 34, 2007GL030046 (2007). <https://doi.org/10.1029/2007GL030046>

³⁶⁷Dziadek, R., Ferraccioli, F. & Gohl, K. High geothermal heat flow beneath Thwaites Glacier in West Antarctica inferred from aeromagnetic data. *Commun Earth Environ* 2, 162 (2021). <https://doi.org/10.1038/s43247-021-00242-3>

Ang makasaysayang data mula sa mga geological at ice core ay nagpapahiwatig na ang Earth ay nakatagpo ng mga katulad na sakuna na cycle bawat 12,000 taon. Bawat ikalawang cycle, ibig sabihin, bawat 24,000 taon, ang mga sakuna sa planeta ay mas mapanira (Larawan 139).



Larawan 139. Ang mga graph ay naglalarawan ng sakuna na aktibidad ng bulkan na nagaganap tuwing 12,000 taon at mas matinding kaganapan tuwing 24,000 taon.

Mga Pinagmulan: Brown, S. K., Croswell, H. S., Sparks, R. S. J., Cottrell, E., Deligne, N. I., Guerrero, N. O., Hobbs, L., Kiyosugi, K., Loughlin, S. C., Siebert, L., & Takarada the Quaternary na pagtatasa ng Pagsasalarawan ng Larupurge, S. Database ng Explosive Volcanic Eruptions (LaMEVE). Journal of Applied Volcanology, 3 (5) (2014). <https://doi.org/10.1186/2191-5040-3-5>
Bryson, R. A. Late quaternary volcanic modulation ng milankovitch climate forcing. teoretikal at inilapat na klimatolohiya 39, 115–125 (1989). <https://doi.org/10.1007/bf00868307>

Ang Earth ay pumapasok nang eksakto sa ganoong cycle ngayon. Gayunpaman, sa pagkakataong ito, dahil sa anthropogenic na polusyon ng karagatan na may micro- at nanoplastics, ang thermal imbalance sa mantle ay tumaas, na humahantong sa pagtaas ng bilang ng mga malalim na pokus na lindol, ang pagbuo ng mga bagong magma chamber at pangkalahatang kawalang-tatag ng planeta. Ito ang dahilan kung bakit ang mga sakuna ay lumalaki nang mas mabilis at mas malakas kaysa sa mga nakaraang cycle. Sa katunayan, ang polusyon sa karagatan ang naging pangunahing dahilan kung bakit maaaring hindi makayanan ng Earth ang siklong ito. Mahalagang maunawaan na ang paglutas sa problema ng polusyon sa karagatan gamit ang micro- at nanoplastics ay maaaring makapagpabagal sa pag-unlad ng mga cataclysms, ngunit hindi ito mapipigilan.



Makakakuha ka ng mas detalyadong impormasyon tungkol sa geodynamic activation ng panloob ng Earth sa panahong ito, ang 12,000-year cycle ng mga sakuna at mga paraan upang malutas ang problemang ito sa ulat na

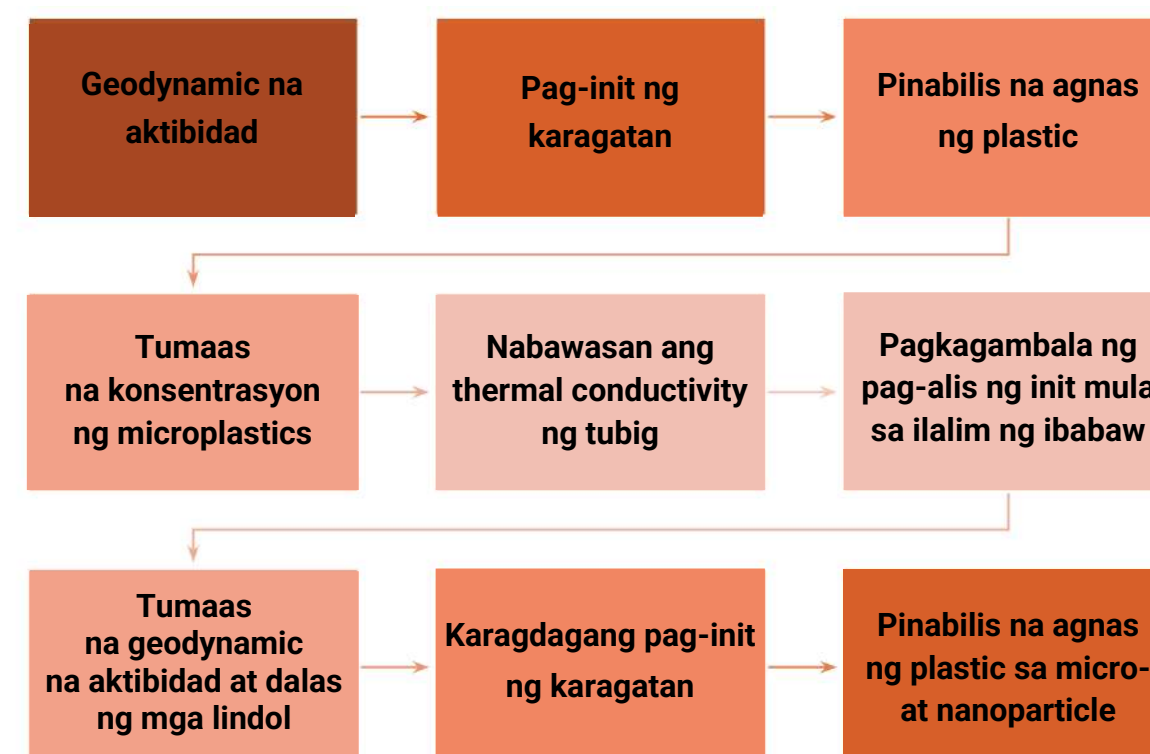
“SA PAG-UNLAD NG MGA SAKUNA NG KLIMA SA MUNDO AT ANG KANILANG MGA SAKUNA NA KAHIHINATNAN”

Gaya ng ipinakita ng mga pangmatagalang interdisciplinary na pag-aaral ng mga geodynamic na pagbabago sa 12,000-taong cycle, ang pangunahing pag-init ng karagatan ay sanhi ng pagtaas ng magma, na may partikular na malakas na epekto sa pang ibabaw na lupa ng karagatan, na mas manipis at mas mahina kaysa sa continental crust. Ang polusyon ng karagatan ng daigdig na may plastic at ang akumulasyon ng micro- at nanoplastic na mga particle ay nagiging kritikal na salik na nagbabago sa mga katangian ng thermophysical ng karagatan. Ang pagkakaroon ng mga sintetikong particle na ito sa tubig ng karagatan ay makabuluhang binabawasan ang kakayahang magsagawa ng init, na nakakagambala sa mga natural na proseso ng pagpapalitan ng init sa pagitan ng malalim na mga layer ng karagatan at sa ibabaw, ngunit ang mas kritikal ay na ito ay nakakagambala sa pag-alis ng init mula sa mga lithospheric plate. Sa ilalim ng mga kondisyon ng isang cycle ng pagtaas ng geodynamic na aktibidad sa panahon ng isang 12,000-taong cycle, isang kritikal na pagbabago sa function na nagdadala ng init ng tubig sa karagatan ay nagdaragdag hindi lamang sa pag-init ng karagatan at atmospera, kundi pati na rin ang pag-init sa kailaliman. Ito ay humahantong sa pagtaas ng pagkatunaw ng mantle at, bilang isang resulta, kahit na mas malakas na geodynamic na aktibidad.

Nagiging sanhi ito ng labis na enerhiya na maipon sa loob ng Earth, na humahantong sa pagtaas ng bilang ng mga malalim na pokus na lindol at ang pinabilis na pagbuo ng mga bagong magma chamber. Sa turn, ang mga prosesong ito ay lalong nagpapalala sa kawalang-tatag ng planeta at nagpapabilis sa pag-init ng karagatan.

Nabubuo ang isang mapanganib na vicious cycle:

pinapainit ng geodynamic activity ang karagatan → pinapabilis ng pag-init ang pagkabulok ng plastic → ang pagtaas ng konsentrasyon ng microplastics ay binabawasan ang thermal conductivity ng tubig → ang pag-alis ng init mula sa interior ay nagambala → ang geodynamic na aktibidad at ang dalas ng mga lindol ay tumataas → ang karagatan ay umiinit lalo at ang proseso ng plastic decomposition ay mas nagiging micro- at nanoeleleles.



Ito ay humahantong sa pagtaas ng dalas at intensity ng matinding mga kaganapan sa panahon at mga natural na sakuna, tulad ng mga baha, bagyo at tropikal na mga bagyo, na ngayon ay umaabot sa hindi pa nagagawang intensity.

Kaya, ang polusyon sa karagatan na may micro- at nanoplastics ay hindi lamang nagdudulot ng malaking pinsala sa kalusugan ng tao, ecosystem, biosphere at sistema ng klima, ngunit nag-aambag din sa pagtaas ng pag-init ng karagatan. Bilang karagdagan, pinalala nito ang mga mapangwasak na sakuna ng 24,000-taong cycle na pinasok na ngayon ng Earth.

Lumilikha ito ng hindi pa nagagawang mga panganib hindi lamang para sa kaligtasan ng sangkatauhan, kundi pati na rin para sa planetang Earth mismo. Ang paglutas sa pandaigdigang krisis sa kapaligiran, klima at geodynamic ay nangangailangan ng internasyonal na kooperasyon ng mga siyentipiko mula sa iba't ibang disiplina upang agarang bumuo at magpatupad ng mga komprehensibong hakbang. Dapat isama ng mga solusyong ito hindi lamang ang paglilinis ng karagatan mula sa micro- at nanoplastics at pagbabawas ng negatibong epekto nito sa kalusugan ng tao, kundi pati na rin ang pagbuo ng mga pangunahing solusyon upang maalis ang mga geodynamic na banta. Mababasa mo ang tungkol sa mga iminungkahing solusyon sa mga nauugnay na ulat:



ULAT

**"SA PAG-UNLAD NG CLIMATE
CATAclysms sa LUPA AT ANG
KANILANG MGA KASAMA NA BUNGA"**



ULAT

**"SA BANTA NG ISANG MAGMATIC
PLUM BREAKTHROUGH SA SIBERIA
AT MGA PARAAN PARA SOLUSYON
ANG PROBLEMA NA ITO"**

MGA KONKLUSYON. NANOPLASTICS — ISANG HAMON NA HINDI MAAARING BALEWALAIN

Ang problema ng plastik na polusyon, lalo na sa anyo ng micro- at nanoplastics, ay lumampas sa mga lokal na kahihinatnan sa kapaligiran at nakuha ang katangian ng isang multifaceted na pandaigdigang banta. Kinukumpirma ng modernong pananaliksik ang direkta at hindi direktang epekto ng mga MNP sa sistema ng klima, ang pagpapanatili ng mga ecosystem at kalusugan ng tao. Ang mga microplastic particle ay maaaring tumagos sa mga buhay na organismo, maging sanhi ng mga nagpapasiklab na reaksiyon, makagambala sa balanse ng hormonal, ang mga pag-andar ng immune at reproductive system, at baguhin ang mga katangian ng physicochemical ng kapaligiran - mula sa tubig ng dagat hanggang sa atmospera.

Mahigit sa 10 taon na ang nakalilipas, ang mga kinatawan ng internasyonal na komunidad na pang-agham na "ALLATRA" ay naglagay ng hypothesis tungkol sa pagtaas ng epekto ng plastik na polusyon sa mga anomalya ng klima at ang paglala ng mga problema sa kalusugan ng publiko. Ngayon, ang mga hypotheses na ito ay nakumpirma sa mga independiyenteng pag-aaral na isinagawa ng mga nangungunang institusyong pang-agham. Ang mabilis na akumulasyon ng data sa ekolohikal at biyolohikal na epekto ng MNP ay nagbubukas ng mga bagong abot-tanaw ng pagsusuri, kabilang ang pagbabago ng mga pattern ng klima, mga pagbabago sa hydrosphere, at ang paglaki ng mga sistematikong panganib para sa napapanatiling pag-unlad. Ang partikular na pag-aalala ay ang katotohanan na kahit na ang mga mikroskopikong konsentrasyon ng nanoplastics ay maaaring mag-trigger ng mga epekto ng kaskad sa biosphere at klima. Ang plastik ay hindi na maging solidong basura lamang — ito ay nagiging aktibong ahente ng pagbabago ng tirahan at katawan ng tao. Ang mga kahihinatnan ng pagkalat nito ay maliwanag na. Ang problema sa MNP ay nakakaapekto hindi lamang sa ekolohiya at medisina, ngunit nangangailangan din ng pag-unawa sa konteksto ng pambansang seguridad, macroeconomics, at internasyonal na relasyon.

Bilang bahagi ng diskarte upang labanan ang banta na ito, iminungkahi ng Kilusan ng ALLATRA ang dalawang pangunahing lugar na may parehong inilapat at mahuhulain na potensyal. Ang una sa mga ito ay ang malakihang pagpapatupad ng atmospheric water generation (AWG) na mga teknolohiya, na maaaring sabay na malutas ang problema ng kakulangan sa sariwang tubig at mag-ambag sa paglilinis ng kapaligiran at karagatan mula sa mga microplastic na particle. Gayunpaman, ang pagpapatupad ng mga teknolohiya ng AGV ay nangangailangan ng pagsasaalang-alang sa mga posibleng panganib - sa partikular, isang pagtaas sa konsentrasyon ng MNP sa hangin at, bilang isang resulta, isang pagtaas sa epekto ng paglanghap sa mga tao. Idinidikta nito ang pangangailangan para sa parallel na pag-unlad ng lubos na epektibong pagsasala at mga sistema ng proteksyon.

Ang pangalawang estratehikong direksyon, na iminungkahi din ng ALLATRA, ay ang pagbuo ng mga pamamaraan para sa pag-neutralize o pagprotekta sa electrostatic charge ng nanoplastics, isa sa mga pangunahing kadahilanan ng kanilang toxicity. Ang mga naka-charge na nanoplastic na particle ay aktibong nakikipag-ugnayan sa mga lamad ng cell, protina, at genetic na materyal, na bumubuo ng

mga matatag na molecular bond. Ang mga naturang particle ay tumagos sa mga biological na hadlang, kabilang ang hadlang sa dugo-utak, na naipon sa mga tisyu, at nagpapasimula ng isang kaskad ng mga cellular disorder, mula sa oxidative stress hanggang sa apoptosis. Ang pagbabawas ng electrostatic na aktibidad ng micro- at nanoplastics ay maaaring makabuluhang bawasan ang kanilang pinsala at pabagalin ang kanilang akumulasyon sa katawan.

Ayon sa mga may-akda ng ulat, ang pagprotekta o neutralisasyon ng electrostatic charge ay maaaring mabawasan ang potensyal na panganib ng mga MNP ng hindi bababa sa 50%, na ginagawang kritikal ang bahaging ito ng pananaliksik. Ito ay lilikha ng kinakailangang agwat ng oras para sa pagbuo ng mas komprehensibong mga diskarte para sa mga diagnostic, pag-iwas at pag-alis ng mga MNP mula sa katawan ng tao at paglilinis ng biosphere. Sa kontekstong ito, ang pananaliksik sa larangan ng biophysics, nanotechnology at molecular toxicology ay partikular na kahalagahan.

Kaya, ang isang epektibong tugon sa banta ng mga MNE ay hindi nangangailangan ng mga puntong hakbang, ngunit isang pandaigdigang at interdisiplinary na diskarte. Ang koordinasyon ng mga pagsisikap sa larangan ng siyentipikong pananaliksik, mga teknolohikal na solusyon, kontrol sa regulasyon at internasyonal na kooperasyon ay kinakailangan. Ang plastik na polusyon ay hindi dapat tingnan bilang isang makitid na problema sa kapaligiran, ngunit bilang isang sistematikong hamon na nakakaapekto sa kalusugan, kaligtasan, seguridad sa mapagkukunan at pagpapanatili ng panlipunang imprastraktura.

Ang pagiging natatangi ng ulat na ito ay nakasalalay sa komprehensibong interdisciplinary na diskarte nito, na pinagsasama-sama ang data mula sa pisika, kimika, biology, at medisina. Ang synthesis na ito ay nagpapahintulot sa amin na isaalang-alang ang problema sa MNE bilang isang hamon sa sibilisasyon na nangangailangan ng mga solusyon sa maraming antas. Sa kasalukuyan, unti-unting napagtatanto ng komunidad ng mundo ang tunay na sukat ng bantang ito. Sa kabila ng kakulangan ng isang unibersal na solusyon, ito ay ang pagnanais na makahanap ng isa at ang pag-unlad ng siyentipikong kooperasyon na maaaring matukoy ang landas sa pagtagumpayan ng krisis. Ang pangunahing hamon ay hindi ang kawalan ng solusyon, ngunit ang kakayahang makita ito bago ang kritikal na punto.

Mga pinagmumulan

Agence France-Presse. Japan's famous Nara deer dying from eating plastic bags. The Guardian. <https://www.theguardian.com/world/2019/jul/10/japans-famous-nara-deer-dying-from-eating-plastic-bags> (Accessed May 1, 2025).

Ahern, T. P. et al. Medication–Associated Phthalate Exposure and Childhood Cancer Incidence. JNCI: Journal of the National Cancer Institute 114, 885–894 (2022). <https://doi.org/10.1093/jnci/djac045>

Al Malki, J. S., Hussien, N. A., Tantawy, E. M., Khattab, Y. & Mohammadein, A. Terrestrial Biota as Bioindicators for Microplastics and Potentially Toxic Elements. Coatings 11, 1152 (2021). <https://doi.org/10.3390/coatings11101152>

Alfred Wegener Institute, Helmholtz Centre for Polar and Marine Research. Micro- and nanoplastic from the atmosphere is polluting the ocean. <https://www.awi.de/en/about-us/service/press/single-view/mikro-und-nanoplastik-aus-der-atmosphaere-belastet-meere.html> (Accessed May 1, 2025)

Alijagic, A. et al. The triple exposure nexus of microplastic particles, plastic-associated chemicals, and environmental pollutants from a human health perspective. Environment International 188, 108736 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.108736>

AllatRa TV. Anthropogenic factor in the oceans' demise: Popular science film. Time 55:00, (2025). <https://allatra.tv/en/video/anthropogenic-factor-in-the-oceans-demise-popular-science-film> (Accessed May 1, 2025).

Allen, S. et al. Examination of the ocean as a source for atmospheric microplastics. PLoS ONE 15, e0232746 (2020). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232746>

Alqahtani, S., Alqahtani, S., Saquib, Q. & Mohiddin, F. Toxicological impact of microplastics and nanoplastics on humans: understanding the mechanistic aspect of the interaction. Front. Toxicol. 5, 1193386 (2023). <https://doi.org/10.3389/ftox.2023.1193386>

Amato-Lourenço, L. F. et al. Microplastics in the Olfactory Bulb of the Human Brain. JAMA Netw Open 7, e2440018 (2024). <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2024.40018>

Amato-Lourenço, L. F. et al. Presence of airborne microplastics in human lung tissue. Journal of Hazardous Materials 416, 126124 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126124>

American College of Cardiology. New evidence links microplastics with chronic disease. (2025) <https://www.acc.org/About-ACC/Press-Releases/2025/03/25/10/19/New-Evidence-Links-Microplastics-with-Chronic-Disease> (Accessed May 1, 2025).

Animal Survival International. Sri Lankan Elephants Die After Eating Plastic From Rubbish Dumps. (2020) <https://animalsurvival.org/habitat-loss/sri-lankan-elephants-die-after-eating-plastic-from-rubbish-dumps> (Accessed May 1, 2025).

- Argo Program. 'Mission'. (n.d.) <https://argo.ucsd.edu/about/mission/> (Accessed May 10, 2025).
- Arrigo, F., Impellitteri, F., Piccione, G. & Faggio, C. Phthalates and their effects on human health: Focus on erythrocytes and the reproductive system. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology* 270, 109645 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2023.109645>
- Ask a Scientist Blog. If molecules in colder things get denser, why does ice float? WordPress. <https://askascientistblog.wordpress.com/2015/11/04/if-molecules-in-colder-things-get-denser-why-does-ice-float> (Accessed May 1, 2025).
- Auta, H. S. et al. Enhanced microbial degradation of PET and PS microplastics under natural conditions in mangrove environment. *Journal of Environmental Management* 304, 114273 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114273>
- Auta, H. S., Emenike, C. U., Jayanthi, B. & Fauziah, S. H. Growth kinetics and biodeterioration of polypropylene microplastics by *Bacillus* sp. and *Rhodococcus* sp. isolated from mangrove sediment. *Marine Pollution Bulletin* 127, 15–21 (2018). <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.11.036>
- Autism Parenting Magazine. Autism Statistics You Need To Know in 2024. (2025) <https://www.autismparentingmagazine.com/autism-statistics> (Accessed May 1, 2025).
- Avio, C. G., Gorbi, S. & Regoli, F. Experimental development of a new protocol for extraction and characterization of microplastics in fish tissues: First observations in commercial species from Adriatic Sea. *Marine Environmental Research* 111, 18–26 (2015). <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2015.06.014>
- Aykut, B., Pushalkar, S., Chen, R. et al. The fungal mycobiome promotes pancreatic oncogenesis via activation of MBL. *Nature* 574, 264–267 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1608-2>
- Azeem, I. et al. Uptake and Accumulation of Nano/Microplastics in Plants: A Critical Review. *Nanomaterials* 11, 2935 (2021). <https://doi.org/10.3390/nano11112935>
- Azim Premji University. The Biology of Electricity: How electricity is critical to the functioning of the human body. (2022) <https://azimpremjiuniversity.edu.in/news/2022/the-biology-of-electricity> (Accessed May 1, 2025).
- Baker, B. H. et al. Ultra-processed and fast food consumption, exposure to phthalates during pregnancy, and socioeconomic disparities in phthalate exposures. *Environment International* 183, 108427 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.108427>
- Baker, E. T. & German, C. R. On the Global Distribution of Hydrothermal Vent Fields. in *Mid-Ocean Ridges: Hydrothermal Interactions Between the Lithosphere and Oceans* (eds German, C. R., Lin, J. & Parson, L. M.) 245–266 (American Geophysical Union, 2004).
- Baker, E. T. et al. How many vent fields? New estimates of vent field populations on ocean ridges from precise mapping of hydrothermal discharge locations. *Earth Planet. Sci. Lett.* 449, 186–196 (2016). <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2016.05.031>

- Bandmann, V., Müller, J. D., Köhler, T. & Homann, U. Uptake of fluorescent nano beads into BY2-cells involves clathrin-dependent and clathrin-independent endocytosis. *FEBS Letters* 586, 3626–3632 (2012). <https://doi.org/10.1016/j.febslet.2012.08.008>
- Baribo, L. E., Avens, J. S. & O'Neill, R. D. Effect of Electrostatic Charge on the Contamination of Plastic Food Containers by Airborne Bacterial Spores. *Applied Microbiology* 14, 905–913 (1966). <https://doi.org/10.1128/am.14.6.905-913.1966>
- Barnes, D. K. A., Galgani, F., Thompson, R. C. & Barlaz, M. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Phil. Trans. R. Soc. B* 364, 1985–1998 (2009). <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0205>
- Basaran, B. et al. Microplastics in honey from Türkiye: Occurrence, characteristic, human exposure, and risk assessment. *Journal of Food Composition and Analysis* 135, 106646 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2024.106646>
- Alma, A. M., de Groot, G. S. & Buteler, M. Microplastics incorporated by honeybees from food are transferred to honey, wax and larvae. *Environmental Pollution* 320, 121078 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121078>
- Pasquini, E. et al. Microplastics reach the brain and interfere with honey bee cognition. *Science of The Total Environment* 912, 169362 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169362>
- Behrenfeld et al. 2009 Роберта Симмона <https://earthobservatory.nasa.gov/features/Phytoplankton> (Accessed May 1, 2025).
- Bell, Katherine L. C., et al. "How Little We've Seen: A Visual Coverage Estimate of the Deep Seafloor." *Science Advances*, vol. 11, no. 19, 2025, eadp8602. <https://doi.org/10.1126/sciadv.adp8602>.
- Bengalli, R. et al. Characterization of microparticles derived from waste plastics and their bio-interaction with human lung A549 cells. *Journal of Applied Toxicology* 42, 2030–2044 (2022). <https://doi.org/10.1002/jat.4372>
- Berger Bioucas, F. E. et al. Effective Thermal Conductivity of Nanofluids: Measurement and Prediction. *Int J Thermophys* 41, 55 (2020). <https://doi.org/10.1007/s10765-020-2621-2>
- Beriot, N., Peek, J., Zornoza, R., Geissen, V. & Huerta Lwanga, E. Low density-microplastics detected in sheep faeces and soil: A case study from the intensive vegetable farming in Southeast Spain. *Science of The Total Environment* 755, 142653 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142653>
- Bhuiyan, M. M. U. et al. Oxygen declination in the coastal ocean over the twenty-first century: Driving forces, trends, and impacts. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering* 9, 100621 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.100621>
- Bopp, L. et al. Multiple stressors of ocean ecosystems in the 21st century: projections with CMIP5 models. *Biogeosciences* 10, 6225–6245 (2013). <https://doi.org/10.5194/bg-10-6225-2013>
- Borreani, G. & Tabacco, E. 9 - Plastics in Animal Production. in *A Guide to the Manufacture, Performance, and Potential of Plastics in Agriculture* (ed. Orzolek, M. D.) 145–185 (Elsevier, 2017). <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102170-5.00009-9>

- Bosker, T., Bouwman, L. J., Brun, N. R., Behrens, P. & Vijver, M. G. Microplastics accumulate on pores in seed capsule and delay germination and root growth of the terrestrial vascular plant *Lepidium sativum*. *Chemosphere* 226, 774–781 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.03.163>
- Boyce, D. G., Lewis, M. R. & Worm, B. Global phytoplankton decline over the past century. *Nature* 466, 591–596 (2010). <https://doi.org/10.1038/nature09268>
- Brahney, J., Hallerud, M., Heim, E., Hahnenberger, M. & Sukumaran, S. Plastic rain in protected areas of the United States. *Science* 368, 1257–1260 (2020). <https://doi.org/10.1126/science.aaz5819>
- Brennecke, D., Duarte, B., Paiva, F., Caçador, I. & Canning-Clode, J. Microplastics as vector for heavy metal contamination from the marine environment. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 178, 189–195 (2016). <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2015.12.003>
- Breton, J. L. Visitation patterns of African elephants (*Loxodonta africana*) to a rubbish dumpsite in Victoria Falls, Zimbabwe. *Pachyderm* 60, 45–54 (2019). <https://doi.org/10.69649/pachyderm.v60i.30>
- Broquet, A. & Andrews-Hanna, J. C. Geophysical evidence for an active mantle plume underneath Elysium Planitia on Mars. *Nat Astron* (2022). <https://doi.org/10.1038/s41550-022-01836-3>
- Broszeit, S., Hattam, C. & Beaumont, N. Bioremediation of waste under ocean acidification: Reviewing the role of *Mytilus edulis*. *Marine Pollution Bulletin* 103, 5–14 (2016). <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.12.040>
- Brown, S. K., Croswell, H. S., Sparks, R. S.J., Cottrell, E., Deligne, N. I., Guerrero, N. O., Hobbs, L., Kiyosugi, K., Loughlin, S. C., Siebert, L., & Takarada, S. Characterisation of the Quaternary eruption record: analysis of the Large Magnitude Explosive Volcanic Eruptions (LaMEVE) database. *Journal of Applied Volcanology*, 3 (5) (2014). <https://doi.org/10.1186/2191-5040-3-5>
- Brynzak-Schreiber, E. et al. Microplastics role in cell migration and distribution during cancer cell division. *Chemosphere* 353, 141463 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.141463>
- Bryson, R. A.. Late quaternary volcanic modulation of Milankovitch climate forcing. *Theoretical and Applied Climatology*, 39, 115–125 (1989). <https://doi.org/10.1007/bf00868307>
- Busse, H. L., Ariyasena, D. D., Orris, J. & Freedman, M. A. Pristine and Aged Microplastics Can Nucleate Ice through Immersion Freezing. *ACS EST Air* 1, 1579–1588 (2024). <https://doi.org/10.1021/acsestair.4c00146>
- Campanale, C., Massarelli, C., Savino, I., Locaputo, V. & Uricchio, V. F. A Detailed Review Study on Potential Effects of Microplastics and Additives of Concern on Human Health. *IJERPH* 17, 1212 (2020). <https://doi.org/10.3390/ijerph17041212>
- Casella, C. & Ballaz, S. J. Genotoxic and neurotoxic potential of intracellular nanoplastics: A review. *Journal of Applied Toxicology* 44, 1657–1678 (2024). <https://doi.org/10.1002/jat.4598>
- Centers for Disease Control and Prevention. Autism Prevalence Higher, According to Data from 11 ADDM Communities. <https://www.cdc.gov/media/releases/2023/p0323-autism.html> (Accessed May 1, 2025).

- Chadwick, J., Keller, R., Kamenov, G., Yogodzinski, G. & Lupton, J. The Cobb hot spot: HIMU-DMM mixing and melting controlled by a progressively thinning lithospheric lid. *Geochem. Geophys. Geosyst.* 15, 3107–3122 (2014). <https://doi.org/10.1002/2014gc005334>
- Chen, M. J., Karaviti, L. P., Roth, D. R. & Schlomer, B. J. Birth prevalence of hypospadias and hypospadias risk factors in newborn males in the United States from 1997 to 2012. *Journal of Pediatric Urology* 14, 425.e1–425.e7 (2018). <https://doi.org/10.1016/j.jpurol.2018.08.024>
- Chen, Y. et al. Electrolytes induce long-range orientational order and free energy changes in the H-bond network of bulk water. *Sci. Adv.* 2, e1501891 (2016). <https://doi.org/10.1126/sciadv.1501891>
- Cheng, L. et al. Another Year of Record Heat for the Oceans. *Adv. Atmos. Sci.* 40, 963–974 (2023). <https://doi.org/10.1007/s00376-023-2385-2>
- Cheng, L., Abraham, J., Zhu, J. et al. Record-Setting Ocean Warmth Continued in 2019. *Adv. Atmos. Sci.* 37, 137–142 (2020). <https://doi.org/10.1007/s00376-020-9283-7>
- Chew, T., Daik, R. & Hamid, M. Thermal Conductivity and Specific Heat Capacity of Dodecylbenzenesulfonic Acid-Doped Polyaniline Particles—Water Based Nanofluid. *Polymers* 7, 1221–1231 (2015). <https://doi.org/10.3390/polym7071221>
- China Environment News. Microplastics "secretly attack" the human body, how much damage can they cause? (2025) <https://cenews.com.cn/news.html?aid=1205048> (Accessed May 1, 2025).
- Climate.gov. 'The role of the ocean in tempering global warming'. (2014) <https://www.climate.gov/news-features/blogs/enso/role-ocean-tempering-global-warming> (Accessed May 10, 2025).
- ClimateReanalyzer.org, Climate Change Institute, University of Maine, Dataset. NOAA OISST. https://climatereanalyzer.org/clim/sst_daily/?dm_id=world2 (Accessed May 1, 2025).
- Columbia Climate School. 'Is Global Heating Hiding Out in the Oceans?'. (2013) <https://www.earth.columbia.edu/articles/view/3130> (Accessed May 10, 2025).
- Corinaldesi, C., Canensi, S., Dell'Anno, A. et al. Multiple impacts of microplastics can threaten marine habitat-forming species. *Commun Biol* 4, 431 (2021). <https://doi.org/10.1038/s42003-021-01961-1>
- Crisp, J. A. Rates of magma emplacement and volcanic output. *J. Volc. Geotherm. Res.* 20, 177–211 (1984). [https://doi.org/10.1016/0377-0273\(84\)90039-8](https://doi.org/10.1016/0377-0273(84)90039-8)
- Da Costa Filho, P. A. et al. Detection and characterization of small-sized microplastics ($\geq 5 \mu\text{m}$) in milk products. *Sci Rep* 11, 24046 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-03458-7>
- Dante, S. et al. Selective Targeting of Neurons with Inorganic Nanoparticles: Revealing the Crucial Role of Nanoparticle Surface Charge. *ACS Nano* 11, 6630–6640 (2017). <https://doi.org/10.1021/acsnano.7b00397>
- Dawson, A. L. et al. Turning microplastics into nanoplastics through digestive fragmentation by Antarctic krill. *Nat Commun* 9, 1001 (2018). <https://doi.org/10.1038/s41467-018-03465-9>

- De Falco, F., Di Pace, E., Cocca, M. & Avella, M. The contribution of washing processes of synthetic clothes to microplastic pollution. *Sci Rep* 9, 6633 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-43023-x>
- De Jersey, A. M. et al. Seabirds in crisis: Plastic ingestion induces proteomic signatures of multiorgan failure and neurodegeneration. *Sci. Adv.* 11, eads0834 (2025). <https://doi.org/10.1126/sciadv.ads0834>
- De Pater, I. et al. Record-breaking storm activity on Uranus in 2014. *Icarus* 252, 121-128 (2015). <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2015.01.008>
- De Souza Machado, A. A. et al. Impacts of Microplastics on the Soil Biophysical Environment. *Environ. Sci. Technol.* 52, 9656–9665 (2018). <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b02212>
- De Souza Machado, A. A., Kloas, W., Zarfl, C., Hempel, S. & Rillig, M. C. Microplastics as an emerging threat to terrestrial ecosystems. *Global Change Biology* 24, 1405–1416 (2018). <https://doi.org/10.1111/gcb.14020>
- Deike, L., Reichl, B. G. & Paulot, F. A Mechanistic Sea Spray Generation Function Based on the Sea State and the Physics of Bubble Bursting. *AGU Advances* 3, e2022AV000750 (2022). <https://doi.org/10.1029/2022AV000750>
- Deng, S., Liu, S., Mo, X., Jiang, L., & Bauer Gottwein, P. Polar Drift in the 1990s Explained by Terrestrial Water Storage Changes. *Geophysical Research Letters*, 48, e2020GL092114 (2021). <https://doi.org/10.1029/2020gl092114>
- Derraik, J. G. B. The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. *Marine Pollution Bulletin* 44, 842–852 (2002). [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(02\)00220-5](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(02)00220-5)
- Dick, L. et al. The adsorption of drugs on nanoplastics has severe biological impact. *Sci Rep* 14, 25853 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-75785-4>
- Dohlman, A. B. et al. A pan-cancer mycobiome analysis reveals fungal involvement in gastrointestinal and lung tumors. *Cell* 185, 3807-3822.e12 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.cell.2022.09.015>
- Dris, R. et al. A first overview of textile fibers, including microplastics, in indoor and outdoor environments. *Environmental Pollution* 221, 453–458 (2017). <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.12.013>
- Dugershaw-Kurzer, B. et al. Nanoparticles Dysregulate the Human Placental Secretome with Consequences on Angiogenesis and Vascularization. *Advanced Science* 11, 2401060 (2024). <https://doi.org/10.1002/adv.202401060>
- Duncan, E. M. et al. Microplastic ingestion ubiquitous in marine turtles. *Global Change Biology* 25, 744–752 (2019). <https://doi.org/10.1111/gcb.14519>
- Dürig, T., White, J.D.L., Murch, A.P. et al. Deep-sea eruptions boosted by induced fuel–coolant explosions. *Nat. Geosci.* 13, 498–503 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41561-020-0603-4>
- [EarthDay.org](https://www.earthday.org/babies-vs-plastics-what-every-parent-should-know). Babies vs. Plastics Report. (2023) <https://www.earthday.org/babies-vs-plastics-what-every-parent-should-know> (Accessed May 1, 2025).

- Encrenaz, T. et al. HDO and SO₂ thermal mapping on Venus - IV. Statistical analysis of the SO₂ plumes. *A&A* 623, A70 (2019). <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201833511>
- Encyclopædia Britannica. Neuron. Britannica. (2025) <https://www.britannica.com/science/neuron> (Accessed May 1, 2025).
- Enders, K., Lenz, R., Stedmon, C. A. & Nielsen, T. G. Abundance, size and polymer composition of marine microplastics ≥ 10 µm in the Atlantic Ocean and their modelled vertical distribution. *Marine Pollution Bulletin* 100, 70–81 (2015). <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.09.027>
- Eriksen, M. et al. A growing plastic smog, now estimated to be over 170 trillion plastic particles afloat in the world's oceans—Urgent solutions required. *PLoS ONE* 18, e0281596 (2023). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0281596>
- Eriksen, M. et al. Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea. *PLoS ONE* 9, e111913 (2014). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111913>
- Eriksen, M., Lusher, A., Nixon, M. & Wernery, U. The plight of camels eating plastic waste. *Journal of Arid Environments* 185, 104374 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104374>
- Eunomia. Plastics in the Marine Environment. <https://eunomia.eco/reports/plastics-in-the-marine-environment> (Accessed May 1, 2025)
- European Severe Storms Laboratory. Hailstorms of 2024 <https://www.essl.org/cms/hailstorms-of-2024> (Accessed May 1, 2025).
- [Fanpage.it](https://www.fanpage.it). At Campi Flegrei 675 earthquakes in April 2023: it is the month with the most tremors in the last 20 years. (2023) <https://www.fanpage.it/napoli/campi-flegrei-675-terremoti-aprile-2023> (Accessed May 1, 2025).
- Federal Office of Public Health. Impact of pollution on embryonic development - Nanoparticles: Risk for babies in the womb. FOPH. (2024) <https://www.bit.admin.ch/en/nsb?id=101285> (Accessed May 1, 2025).
- Feldkamp, M. L. et al. Gastroschisis prevalence patterns in 27 surveillance programs from 24 countries, International Clearinghouse for Birth Defects Surveillance and Research, 1980–2017. *Birth Defects Research* 116, e2306 (2024). <https://doi.org/10.1002/bdr2.2306>
- Fernando, B. et al. A Tectonic Origin for the Largest Marsquake Observed by InSight. *Geophysical Research Letters* 50, e2023GL103619 (2023). <https://doi.org/10.1029/2023GL103619>
- Financial Times. Have humans passed peak brain power? <https://www.ft.com/content/a8016c64-63b7-458b-a371-e0e1c54a13fc> (Accessed May 1, 2025).
- Frazier, T. W., Georgiades, S., Bishop, S. L. & Hardan, A. Y. Behavioral and Cognitive Characteristics of Females and Males With Autism in the Simons Simplex Collection. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry* 53, 329-340.e3 (2014). <https://doi.org/10.1016/j.jaac.2013.12.004>

- Galyon, H. et al. Long-term in situ ruminal degradation of biodegradable polymers in Holstein dairy cattle. *JDS Communications* 4, 70–74 (2023). <https://doi.org/10.3168/jdsc.2022-0319>
- Gao, Y., Fang, H. & Ni, K. A hierarchical clustering method of hydrogen bond networks in liquid water undergoing shear flow. *Sci Rep* 11, 9542 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-88810-7>
- Gao, Y., Fang, H., Ni, K. & Feng, Y. Water clusters and density fluctuations in liquid water based on extended hierarchical clustering methods. *Sci Rep* 12, 8036 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-11947-6>
- Garbage Patches. Marine Debris Program. NOAA <https://marinedebris.noaa.gov/discover-marine-debris/garbage-patches> (Accessed May 1, 2025)
- Gase, A. et al. Subducting volcanoclastic-rich upper crust supplies fluids for shallow megathrust and slow slip. *Sci. Adv.* 9, eadh0150 (2023). <https://doi.org/10.1126/sciadv.adh0150>
- GeoNet. Strong M5.6 earthquake consistent with continued minor volcanic unrest at Taupō. Volcanic Alert Level remains at Level 1. (2022) <https://www.geonet.org.nz/vabs/7tu66lDztDnlaYDG0LYSgl> (Accessed May 1, 2025).
- Geueke, B. et al. Evidence for widespread human exposure to food contact chemicals. *J Expo Sci Environ Epidemiol* 1–12 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41370-024-00718-2>
- Geyer, R., Jambeck, J. R. & Law, K. L. Production, use, and fate of all plastics ever made. *Sci. Adv.* 3, e1700782 (2017). <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>
- Gigault, J. et al. Current opinion: What is a nanoplastic? *Environmental Pollution* 235, 1030–1034 (2018). <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.01.024>
- Glausiusz, J. Toxicology: The plastics puzzle. *Nature* 508, 306–308 (2014). <https://doi.org/10.1038/508306a>
- Glorio Patrucco, S., Rivoira, L., Bruzzoniti, M. C., Barbera, S. & Tassone, S. Development and application of a novel extraction protocol for the monitoring of microplastic contamination in widely consumed ruminant feeds. *Science of The Total Environment* 947, 174493 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.174493>
- Gou, Z., Wu, H., Li, S., Liu, Z. & Zhang, Y. Airborne micro- and nanoplastics: emerging causes of respiratory diseases. *Particle and Fibre Toxicology* 21, 50 (2024). <https://doi.org/10.1186/s12989-024-00613-6>
- Grechi, N. et al. Microplastics are present in women's and cows' follicular fluid and polystyrene microplastics compromise bovine oocyte function in vitro. *eLife* 12, (2023). <https://doi.org/10.7554/eLife.86791.1>
- Guo, X. et al. Discovery and analysis of microplastics in human bone marrow. *Journal of Hazardous Materials* 477, 135266 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.135266>

- Hale, R. C., Seeley, M. E., La Guardia, M. J., Mai, L. & Zeng, E. Y. A Global Perspective on Microplastics. *Journal of Geophysical Research: Oceans* 125, e2018JC014719 (2020). <https://doi.org/10.1029/2018JC014719>
- Hall-Spencer, J. M. & Harvey, B. P. Ocean acidification impacts on coastal ecosystem services due to habitat degradation. *Emerging Topics in Life Sciences* 3, 197–206 (2019). <https://doi.org/10.1042/ETLS20180117>
- Harrison, R. G. Atmospheric electricity and cloud microphysics <https://cds.cern.ch/record/557170/files/p75.pdf> (Accessed May 1, 2025).
- Hasan, M. M. et al. Impact of microplastics on terrestrial ecosystems: A plant-centric perspective. *Environmental Pollution and Management* 1, 223–234 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.epm.2024.11.002>
- Helmholtz Centre for Environmental Research - UFZ. Environmental Impacts of Plastics: Moving beyond the perspective on waste. https://www.ufz.de/index.php?en=36336&webc_pm=44/2024 (Accessed May 1, 2025)
- Ho, W.-K. et al. Sorption Behavior, Speciation, and Toxicity of Microplastic-Bound Chromium in Multisolute Systems. *Environ. Sci. Technol. Lett.* 10, 27–32 (2023). <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.2c00689>
- Ho, W.-K. et al. Sorption Behavior, Speciation, and Toxicity of Microplastic-Bound Chromium in Multisolute Systems. *Environ. Sci. Technol. Lett.* 10, 27–32 (2023). <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.2c00689>
- Hoffman, M. J. & Hittinger, E. Inventory and transport of plastic debris in the Laurentian Great Lakes. *Marine Pollution Bulletin* 115, 273–281 (2017). <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.11.061>
- Hofstede, L. T., Vasse, G. F. & Melgert, B. N. Microplastics: A threat for developing and repairing organs? *Cambridge Prisms: Plastics* 1, e19 (2023). <https://doi.org/10.1017/plc.2023.19>
- How Much of the World's Plastic Waste Actually Gets Recycled? <https://www.visualcapitalist.com/how-much-plastic-gets-recycled> (Accessed May 1, 2025)
- Huang, H. et al. Microplastics in the bloodstream can induce cerebral thrombosis by causing cell obstruction and lead to neurobehavioral abnormalities. *Sci. Adv.* 11, eadr8243 (2025). <https://doi.org/10.1126/sciadv.adr8243>
- Huang, S. et al. Detection and Analysis of Microplastics in Human Sputum. *Environ. Sci. Technol.* 56, 2476–2486 (2022). <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c03859>
- Huang, S. et al. Plastic Waste Management Strategies and Their Environmental Aspects: A Scientometric Analysis and Comprehensive Review. *IJERPH* 19, 4556 (2022). <https://doi.org/10.3390/ijerph19084556>
- IERS Earth Orientation Center of the Paris Observatory. Day length – Earth orientation parameters: https://datacenter.iers.org/singlePlot.php?plotname=EOPC04_14_62-NOW_IAU1980-LOD&id=223 (Accessed May 1, 2025).

Iizuka, T. et al. Mono-(2-ethyl-5-hydroxyhexyl) phthalate promotes uterine leiomyoma cell survival through tryptophan-kynurenine-AHR pathway activation. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 119, e2208886119 (2022). <https://doi.org/10.1073/pnas.2208886119>

Institute of Marine Sciences (ICM-CSIC). Plastic degradation in the ocean contributes to its acidification. <https://www.icm.csic.es/en/news/plastic-degradation-ocean-contributes-its-acidification> (Accessed May 1, 2025).

IPCC. Global Warming of 1.5°C. (Cambridge University Press, 2022). <https://doi.org/10.1017/9781009157940> (Accessed May 1, 2025).

Irigoiien, X. et al. Large mesopelagic fishes biomass and trophic efficiency in the open ocean. *Nat Commun* 5, 3271 (2014). <https://doi.org/10.1038/ncomms4271>

Islam, W., Zeng, F., Alotaibi, M. O. & Khan, K. A. Unlocking the potential of soil microbes for sustainable desertification management. *Earth-Science Reviews* 252, 104738 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2024.104738>

Ivar Do Sul, J. A. & Costa, M. F. The present and future of microplastic pollution in the marine environment. *Environmental Pollution* 185, 352–364 (2014). <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.10.036>

Ivleva, N. P. Chemical Analysis of Microplastics and Nanoplastics: Challenges, Advanced Methods, and Perspectives. *Chem. Rev.* 121, 11886–11936 (2021). <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.1c00178>

James P. Barry, Stephen Widdicombe, and Jason M. Hall-Spencer. Effects of ocean acidification on marine biodiversity and ecosystem function. *Ocean acidification*, edited by Jean-Pierre Gattuso, Lina Hansson. Oxford, Oxford University Press, 2011. <https://books.google.com.ua/books?id=8y-jNFxkALjIC&pg=PA192>

Jamieson, D. T. & Tudhope, J. S. Physical properties of sea water solutions: thermal conductivity. *Desalination* 8, 393–401 (1970). [https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(00\)80240-4](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(00)80240-4)

Jeffrey, G. A. *An Introduction to Hydrogen Bonding* (Oxford University Press, New York, 1997). <https://books.google.com/books?vid=ISBN0195095499>

Jenna R. Jambeck et al., Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science* 347, 768–771 (2015). <https://doi.org/10.1126/science.1260352>

Jeong, B. et al. Maternal exposure to polystyrene nanoplastics causes brain abnormalities in progeny. *Journal of Hazardous Materials* 426, 127815 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127815>

Jiefang Daily. Intestine is the second brain? It can also communicate with multiple organs in both directions | New People - Health News. (2025) <https://www.jfdaily.com/staticsg/res/html/web/newsDetail.html?id=866347> (Accessed May 1, 2025).

Jochum, M. et al. Elevated Micro- and Nanoplastics Detected in Preterm Human Placentae. Preprint (2025). <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-5903715/v1>

Johnson, Gregory C., et al. "Argo-Two Decades: Global Oceanography, Revolutionized." *Annual Review of Marine Science*, vol. 14, 2022, pp. 379–403. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-022521-102008>.

Kahane-Rapport, S. R. et al. Field measurements reveal exposure risk to microplastic ingestion by filter-feeding megafauna. *Nat Commun* 13, 6327 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41467-022-33334-5>

Karim, A. et al. Interfacial Interactions between Nanoplastics and Biological Systems: toward an Atomic and Molecular Understanding of Plastics-Driven Biological Dyshomeostasis. *ACS Appl. Mater. Interfaces* 16, 25740–25756 (2024). <https://doi.org/10.1021/acsami.4c03008>

Karlsruhe Institute of Technology. Blind spots in the monitoring of plastic waste https://www.kit.edu/kit/english/pi_2022_097_blind-spots-in-the-monitoring-of-plastic-waste.php (Accessed May 1, 2025)

Kaushik, A., Singh, A., Kumar Gupta, V. & Mishra, Y. K. Nano/micro-plastic, an invisible threat getting into the brain. *Chemosphere* 361, 142380 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.142380>

Khan, A. & Jia, Z. Recent insights into uptake, toxicity, and molecular targets of microplastics and nanoplastics relevant to human health impacts. *iScience* 26, 106061 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.isci.2023.106061>

Khatuntsev, I. V. et al. Cloud level winds from the Venus Express Monitoring Camera imaging. *Icarus* 226, 140–158 (2013). <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2013.05.018>

Khutorskoy, M. D., & Polyak, B. G. (2014). Reflection of contrasting geodynamic settings in the thermal field. *Georesources*, (2), 24–43.

Kim, D. Y. et al. Effects of Microplastic Accumulation on Neuronal Death After Global Cerebral Ischemia. *Cells* 14, 241 (2025). <https://doi.org/10.3390/cells14040241>

Kim, N.-H., Choo, H.-I. & Lee, Y.-A. Effect of nanoplastic intake on the dopamine system during the development of male mice. *Neuroscience* 555, 11–22 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2024.07.018>

Kiyama, Y., Miyahara, K. & Ohshima, Y. Active uptake of artificial particles in the nematode *Caenorhabditis elegans*. *Journal of Experimental Biology* 215, 1178–1183 (2012). <https://doi.org/10.1242/jeb.067199>

Kopatz, V. et al. Micro- and Nanoplastics Breach the Blood–Brain Barrier (BBB): Biomolecular Corona's Role Revealed. *Nanomaterials* 13, 1404 (2023). <https://doi.org/10.3390/nano13081404>

Kopp, G. & Lean, J. L. A New, Lower Value of Total Solar Irradiance: Evidence and Climate Significance. *Geophysical Research Letters* 38, L01706 (2011). <https://doi.org/10.1029/2010GL045777>

Kosuth, M., Mason, S. A. & Wattenberg, E. V. Anthropogenic contamination of tap water, beer, and sea salt. *PLoS ONE* 13, e0194970 (2018). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194970>

Laage, D., Elsaesser, T. & Hynes, J. T. Water Dynamics in the Hydration Shells of Biomolecules. *Chem. Rev.* 117, 10694–10725 (2017). <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.6b00765>

- LaFemina, P. C. Plate Tectonics and Volcanism. in *The Encyclopedia of Volcanoes* (ed. Sigurdsson, H.) 65–92 (Academic Press, 2015). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385938-9.00003-1>
- Lamb, J. B. et al. Plastic waste associated with disease on coral reefs. *Science* 359, 460–462 (2018). <https://doi.org/10.1126/science.aar3320>
- Laufkötter, C., Zscheischler, J. & Frölicher, T. L. High-impact marine heatwaves attributable to human-induced global warming. *Science* 369, 1621–1625 (2020). <https://doi.org/10.1126/science.aba0690>
- Lax, J. Y., Price, C. & Saaroni, H. On the Spontaneous Build-Up of Voltage between Dissimilar Metals Under High Relative Humidity Conditions. *Sci Rep* 10, 7642 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-64409-2>
- Lear, G., Kingsbury, J.M., Franchini, S. et al. Plastics and the microbiome: impacts and solutions. *Environmental Microbiome* 16, 2 (2021). <https://doi.org/10.1186/s40793-020-00371-w>
- Lebreton, L. et al. Seven years into the North Pacific garbage patch: legacy plastic fragments rising disproportionately faster than larger floating objects. *Environ. Res. Lett.* 19, 124054 (2024). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ad78ed>
- Lebreton, L., Egger, M. & Slat, B. A global mass budget for positively buoyant macroplastic debris in the ocean. *Sci Rep* 9, 12922 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-49413-5>
- Lebreton, L., Slat, B., Ferrari, F. et al. Evidence that the Great Pacific Garbage Patch is rapidly accumulating plastic. *Sci Rep* 8, 4666 (2018). <https://doi.org/10.1038/s41598-018-22939-w>
- Lépine, J.-P. & Briley, M. The increasing burden of depression. *NDT* 7, 3–7 (2011). <https://doi.org/10.2147/NDT.S19617>
- Levine, H. et al. Male reproductive health statement (XIIIth international symposium on Spermatology, may 9th–12th 2018, Stockholm, Sweden. *Basic Clin. Androl.* 28, 13 (2018). <https://doi.org/10.1186/s12610-018-0077-z>
- Levine, H. et al. Temporal trends in sperm count: a systematic review and meta-regression analysis of samples collected globally in the 20th and 21st centuries. *Human Reproduction Update* 29, 157–176 (2023). <https://doi.org/10.1093/humupd/dmac035>
- Li, D., Shi, Y., Yang, L. et al. Microplastic release from the degradation of polypropylene feeding bottles during infant formula preparation. *Nat Food* 1, 746–754 (2020). <https://doi.org/10.1038/s43016-020-00171-y>
- Li, H. et al. Detection of microplastics in domestic and fetal pigs' lung tissue in natural environment: A preliminary study. *Environmental Research* 216, 114623 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114623>
- Li, N. et al. Prevalence and implications of microplastic contaminants in general human seminal fluid: A Raman spectroscopic study. *Science of The Total Environment* 937, 173522 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173522>
- Li, W. et al. Uptake and effect of carboxyl-modified polystyrene microplastics on cotton plants. *Journal of Hazardous Materials* 466, 133581 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.133581>

- Li, X. et al. Mitochondrial proteins and congenital birth defect risk: a mendelian randomization study. *BMC Pregnancy Childbirth* 25, 444 (2025). <https://doi.org/10.1186/s12884-025-07562-8>
- Li, Y. et al. Potential Health Impact of Microplastics: A Review of Environmental Distribution, Human Exposure, and Toxic Effects. *Environ. Health* 1, 249–257 (2023). <https://doi.org/10.1021/envhealth.3c00052>
- Lian, J. et al. Do polystyrene nanoplastics affect the toxicity of cadmium to wheat (*Triticum aestivum* L.)? *Environmental Pollution* 263, 114498 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114498>
- Lide, D. R. (ed.) *CRC Handbook of Chemistry and Physics*, 85th edn (CRC Press, 2004).
- Liebezeit, G. & and Liebezeit, E. Non-pollen particulates in honey and sugar. *Food Additives & Contaminants: Part A* 30, 2136–2140 (2013). <https://doi.org/10.1080/19440049.2013.843025>
- Liu, S. et al. Microplastics in three types of human arteries detected by pyrolysis-gas chromatography/mass spectrometry (Py-GC/MS). *Journal of Hazardous Materials* 469, 133855 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.133855>
- Lusher, A. (2015). *Microplastics in the Marine Environment: Distribution, Interactions and Effects*. In: Bergmann, M., Gutow, L., Klages, M. (eds) *Marine Anthropogenic Litter*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3_10
- Lyons, J.J., Haney, M.M., Fee, D. et al. Infrasound from giant bubbles during explosive submarine eruptions. *Nat. Geosci.* 12, 952–958 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41561-019-0461-0>
- Maganti, S. S. & Akkina, R. C. Detection and characterisation of microplastics in animal feed. *ojafr* 13, 348–356 (2023). <https://doi.org/10.51227/ojafr.2023.50>
- Mandal, M., Roy, A., Popek, R. & Sarkar, A. Micro- and nano- plastic degradation by bacterial enzymes: A solution to 'White Pollution'. *The Microbe* 3, 100072 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.microb.2024.100072>
- Manzi, F., Schlösser, P., Owczarz, A. & Wolinska, J. Polystyrene nanoplastics differentially influence the outcome of infection by two microparasites of the host *Daphnia magna*. *Phil. Trans. R. Soc. B* 378, 20220013 (2023). <https://doi.org/10.1098/rstb.2022.0013>
- Marfella, R. et al. Microplastics and Nanoplastics in Atheromas and Cardiovascular Events. *N Engl J Med* 390, 900–910 (2024). <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2309822>
- Martin-Folgar, R. et al. Molecular effects of polystyrene nanoplastics on human neural stem cells. *PLOS ONE* 19, e0295816 (2024). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0295816>
- Medindia. Study unravels how mitochondrial dysfunction leads to premature aging. (2022) <https://www.medindia.net/news/study-unravels-how-mitochondrial-dysfunction-leads-to-premature-aging-208364-1.htm> (Accessed May 1, 2025).

Meinen, C. S., Perez, R. C., Dong, S., Piola, A. R. & Campos, E. Observed Ocean Bottom Temperature Variability at Four Sites in the Northwestern Argentine Basin: Evidence of Decadal Deep/Abyssal Warming Amidst Hourly to Interannual Variability During 2009–2019. *Geophysical Research Letters* 47, e2020GL089093 (2020). <https://doi.org/10.1029/2020GL089093>

Microplastics pose risk to ocean plankton, climate, other key Earth systems. Mongabay. (2023) <https://news.mongabay.com/2023/10/microplastics-pose-risk-to-ocean-plankton-climate-other-key-earth-systems> (accessed 1 May 2025).

Moiniafshari, K. et al. A perspective on the potential impact of microplastics and nanoplastics on the human central nervous system. *Environmental Science: Nano* 12, 1809–1820 (2025). <https://doi.org/10.1039/D4EN01017E>

Montano, L. et al. First evidence of microplastics in human ovarian follicular fluid: An emerging threat to female fertility. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 291, 117868 (2025). <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2025.117868>

Moore, C. J., Moore, S. L., Leecaster, M. K. & Weisberg, S. B. A Comparison of Plastic and Plankton in the North Pacific Central Gyre. *Marine Pollution Bulletin* 42, 1297–1300 (2001). [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(01\)00114-X](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(01)00114-X)

Moresco, V. et al. Binding, recovery, and infectiousness of enveloped and non-enveloped viruses associated with plastic pollution in surface water. *Environmental Pollution* 308, 119594 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119594>

Morishige, C., Donohue, M. J., Flint, E., Swenson, C. & Woolaway, C. Factors affecting marine debris deposition at French Frigate Shoals, Northwestern Hawaiian Islands Marine National Monument, 1990–2006. *Marine Pollution Bulletin* 54, 1162–1169 (2007). <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2007.04.014>

Muhonja, C. N., Makonde, H., Magoma, G. & Imbuga, M. Biodegradability of polyethylene by bacteria and fungi from Dandora dumpsite Nairobi-Kenya. *PLOS ONE* 13, e0198446 (2018). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198446>

Murano, C., Bergami, E., Liberatori, G., Palumbo, A. & Corsi, I. Interplay Between Nanoplastics and the Immune System of the Mediterranean Sea Urchin *Paracentrotus lividus*. *Front. Mar. Sci.* 8, 647394 (2021). <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.647394>

Murazzi, M. E., Pradel, A., Schefer, R. B., Gessler, A. & Mitrano, D. M. Uptake and physiological impacts of nanoplastics in trees with divergent water use strategies. *Environ. Sci.: Nano* 11, 3574–3584 (2024). <https://doi.org/10.1039/D4EN00286E>

Nanthini devi, K., Raju, P., Santhanam, P. & Perumal, P. Impacts of microplastics on marine organisms: Present perspectives and the way forward. *Egyptian Journal of Aquatic Research* 48, 205–209 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2022.03.001>

Nanthini devi, K., Raju, P., Santhanam, P. & Perumal, P. Impacts of microplastics on marine organisms: Present perspectives and the way forward. *Egyptian Journal of Aquatic Research* 48, 205–209 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2022.03.001>

NASA. NASA Analysis Shows Unexpected Amount of Sea Level Rise in 2024 <https://sealevel.nasa.gov/news/282/nasa-analysis-shows-unexpected-amount-of-sea-level-rise-in-2024> (Accessed May 1, 2025).

NASA. Steamy relationships: How atmospheric water vapor amplifies Earth's greenhouse effect. (2022) <https://science.nasa.gov/earth/climate-change/steamy-relationships-how-atmospheric-water-vapor-amplifies-earths-greenhouse-effect> (Accessed May 1, 2025).

NASA. Tracking 30 Years of Sea Level Rise <https://earthobservatory.nasa.gov/images/150192/tracking-30-years-of-sea-level-rise> (Accessed May 1, 2025).

NASA. What are Phytoplankton? <https://earthobservatory.nasa.gov/features/Phytoplankton> (Accessed May 1, 2025).

National Center for Biotechnology Information. Bisphenol A, 2D Structure. PubChem. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/1017#section=2D-Structure> (Accessed May 1, 2025).

National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases. Overweight & obesity statistics. NIDDK. (2021) <https://www.niddk.nih.gov/health-information/health-statistics/overweight-obesity> (Accessed May 1, 2025).

Nava, V., Chandra, S., Aherne, J. et al. Plastic debris in lakes and reservoirs. *Nature* 619, 317–322 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06168-4>

NBC News. '12 months of record ocean heat has scientists puzzled and concerned'. (2024) <https://www.nbcnews.com/science/environment/oceans-record-hot-rcna143179> (Accessed May 10, 2025).

NBC News. Oceans hit record-hot temperatures. (2024) <https://www.nbcnews.com/science/environment/oceans-record-hot-rcna143179> (Accessed May 1, 2025).

New Atlas. Autism in boys linked to common plastic exposure in the womb. (2024) <https://newatlas.com/health-wellbeing/prenatal-bisphenol-a-bpa-autism-boys> (Accessed May 1, 2025).

News-Medical. Plasticizers can impair important brain functions in humans. (2021) <https://www.news-medical.net/news/20210412/Plasticizers-can-impair-important-brain-functions-in-humans.aspx> (Accessed May 1, 2025).

Ng, E.-L. et al. An overview of microplastic and nanoplastic pollution in agroecosystems. *Science of The Total Environment* 627, 1377–1388 (2018). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.341>

Nihart, A.J., Garcia, M.A., El Hayek, E. et al. Bioaccumulation of microplastics in decedent human brains. *Nat Med* 31, 1114–1119 (2025). <https://doi.org/10.1038/s41591-024-03453-1>

[Nippon.com](https://www.nippon.com/en/features/h00194). Japan's aging society. <https://www.nippon.com/en/features/h00194> (Accessed May 1, 2025).

NOAA Ocean Exploration. 'Marine Life'. (n.d.) <https://oceanexplorer.noaa.gov/explainers/marine-life.html> (Accessed May 10, 2025).

NOAA Ocean Service. 'How far does light travel in the ocean?'. (n.d.) https://oceanservice.noaa.gov/facts/light_travel.html (Accessed May 10, 2025).

NOAA. Data on the position of the North Magnetic Pole. <https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/data/poles/NP.xy> (Accessed May 1, 2025).

NOAA. Earth had its warmest year on record; Upper-ocean heat content was record high while Antarctic sea ice was record low. <https://www.ncei.noaa.gov/news/global-climate-202312> (Accessed May 1, 2025).

NOAA. How much oxygen comes from the ocean? <https://oceanservice.noaa.gov/facts/ocean-oxygen.html> (Accessed May 1, 2025).

NOAA. Ocean heat content. www.nodc.noaa.gov/OC5/3M_HEAT_CONTENT (Accessed May 1, 2025).

O'Hanlon, N. J., James, N. A., Masden, E. A. & Bond, A. L. Seabirds and marine plastic debris in the northeastern Atlantic: A synthesis and recommendations for monitoring and research. *Environmental Pollution* 231, 1291–1301 (2017). <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.08.101>

Obbard, R. W. et al. Global warming releases microplastic legacy frozen in Arctic Sea ice. *Earth's Future* 2, 315–320 (2014). <https://doi.org/10.1002/2014EF000240>

Ocean Blue Project. Plastic Pollution in the Ocean: How Many Animals Die from Pollution? (2021) <https://oceanblueproject.org/wp-content/uploads/2023/02/how-many-animals-die-from-plastic-pollution-ocean-blue-report.pdf> (Accessed May 1, 2025).

OECD (2023) Note: Regional summary data was calculated by Our World in Data based on OECD-provided data. [OurWorldinData.org/plastic-pollution](https://ourworldindata.org/plastic-pollution) | CC BY <https://ourworldindata.org/grapher/share-plastic-fate?time=2019..latest> (Accessed May 1, 2025).

Oliveri Conti, G. et al. Micro- and nano-plastics in edible fruit and vegetables. The first diet risks assessment for the general population. *Environmental Research* 187, 109677 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109677>

Organisation for Economic Co-operation and Development. Do adults have the skills they need to thrive in a changing world? OECD Publications. (2024) https://www.oecd.org/en/publications/do-adults-have-the-skills-they-need-to-thrive-in-a-changing-world_b263dc5d-en.html (Accessed May 1, 2025).

Oßmann, B. E. et al. Small-sized microplastics and pigmented particles in bottled mineral water. *Water Research* 141, 307–316 (2018). <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.05.027>

Ostle, C. et al. The rise in ocean plastics evidenced from a 60-year time series. *Nat Commun* 10,

Our World in Data. Annual plastic waste by disposal method, World, 2000 to 2019. <https://ourworldindata.org/grapher/plastic-fate> (Accessed May 1, 2025).

Our World in Data. Cancer deaths by type, World. <https://ourworldindata.org/grapher/cancer-deaths-by-type-grouped> (Accessed May 1, 2025).

Our World in Data. Deaths from diabetes by type 1980-2021. <https://ourworldindata.org/grapher/deaths-from-diabetes-by-type> (Accessed May 1, 2025).

Our World in Data. Microplastics in the ocean. <https://ourworldindata.org/grapher/microplastics-in-ocean> (Accessed May 1, 2025).

Our World in Data. Number of deaths from cardiovascular diseases by age, worldwide. <https://ourworldindata.org/grapher/cardiovascular-disease-deaths-by-age> (Accessed May 1, 2025).

Panisi, C. & Marini, M. Dynamic and Systemic Perspective in Autism Spectrum Disorders: A Change of Gaze in Research Opens to A New Landscape of Needs and Solutions. *Brain Sciences* 12, 250 (2022). <https://doi.org/10.3390/brainsci12020250>

Pantos, O. Microplastics: impacts on corals and other reef organisms. *Emerging Topics in Life Sciences* 6, 81–93 (2022). <https://doi.org/10.1042/ETLS20210236>

Park, S. Y. & Kim, C. G. Biodegradation of micro-polyethylene particles by bacterial colonization of a mixed microbial consortium isolated from a landfill site. *Chemosphere* 222, 527–533 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.01.159>

Pauling, L. *The Nature of the Chemical Bond*, 3rd edn, Chapter 12-2 (Cornell Univ. Press, 1960).

Pegler, S.S., Ferguson, D.J. Rapid heat discharge during deep-sea eruptions generates megaplumes and disperses tephra. *Nat Commun* 12, 2292 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22439-y>

Peking University Center for Environmental Science and Engineering. Prof. Yi Huang's team made new progress in atmospheric microplastic distribution and its human health risk. CESE. (2022) <https://cese.pku.edu.cn/kycg/156506.htm> (Accessed May 1, 2025).

Peng, X. et al. Microplastics contaminate the deepest part of the world's ocean. *Geochem. Persp. Let.* 9, 1–5 (2018). <https://doi.org/10.7185/geochemlet.1829>

Perini, D. A. et al. Surface-Functionalized Polystyrene Nanoparticles Alter the Transmembrane Potential via Ion-Selective Pores Maintaining Global Bilayer Integrity. *Langmuir* 38, 14837–14849 (2022). <https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.2c02487>

Polyak, B. G., & Khutorskoy, M. D. (2018). Heat flow from the Earth's interior as an indicator of deep-seated processes. *Georesources*, 20(4), Part 2, 366–376. <https://doi.org/10.18599/grs.2018.4.366-376>

[Phys.org](https://phys.org). Quantum effects in proteins: How tiny particles coordinate energy transfer inside cells. (2025) <https://phys.org/news/2025-05-quantum-effects-proteins-tiny-particles.html> (Accessed May 10, 2025).

- Plastics News. Study highlights health hazards of microplastics. (2019) <https://www.plasticsnews.com/news/study-highlights-health-hazards-microplastics> (Accessed May 1, 2025).
- Pinheiro, H. T. et al. Plastic pollution on the world's coral reefs. *Nature* 619, 311–316 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06113-5>
- Pollack, H. N., Hurter, S. J. & Johnson, J. R. Heat flow from the Earth's interior: Analysis of the global data set. *Rev. Geophys.* 31, 267–280 (1993). <https://doi.org/10.1029/93RG01249>
- Prata, J. C. et al. Microplastics in Internal Tissues of Companion Animals from Urban Environments. *Animals* 12, 1979 (2022). <https://doi.org/10.3390/ani12151979>
- Ragusa, A. et al. Plasticenta: First evidence of microplastics in human placenta. *Environment International* 146, 106274 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106274>
- Ragusa, A. et al. Raman Microspectroscopy Detection and Characterisation of Microplastics in Human Breastmilk. *Polymers* 14, 2700 (2022). <https://doi.org/10.3390/polym14132700>
- Rahman, A. M. N. A. A. et al. A review of microplastic surface interactions in water and potential capturing methods. *Water Science and Engineering* 17, 361–370 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.wse.2023.11.008>
- Rai, P. K., Sonne, C., Brown, R. J. C., Younis, S. A. & Kim, K.-H. Adsorption of environmental contaminants on micro- and nano-scale plastic polymers and the influence of weathering processes on their adsorptive attributes. *Journal of Hazardous Materials* 427, 127903 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127903>
- Rajendran, D. & Chandrasekaran, N. Journey of micronanoplastics with blood components. *RSC Adv.* 13, 31435–31459 (2023). <https://doi.org/10.1039/D3RA05620A>
- Ramsperger, A. F. R. M. et al. Environmental exposure enhances the internalization of microplastic particles into cells. *Sci. Adv.* 6, eabd1211 (2020). <https://doi.org/10.1126/sciadv.abd1211>
- Rantanen, M., Karpechko, A.Y., Lipponen, A. et al. The Arctic has warmed nearly four times faster than the globe since 1979. *Commun Earth Environ* 3, 168 (2022). <https://doi.org/10.1038/s43247-022-00498-3>
- Reichert, J., Schellenberg, J., Schubert, P. & Wilke, T. Responses of reef building corals to microplastic exposure. *Environmental Pollution* 237, 955–960 (2018). <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.11.006>
- Riazi, H. et al. Specific heat control of nanofluids: A critical review. *International Journal of Thermal Sciences* 107, 25–38 (2016). <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2016.03.024>
- Ribe, E., Cezard, G. I., Marshall, A. & Keenan, K. Younger but sicker? Cohort trends in disease accumulation among middle-aged and older adults in Scotland using health-linked data from the Scottish Longitudinal Study. *European Journal of Public Health* 34, 696–703 (2024). <https://doi.org/10.1093/eurpub/ckae062>
- Rillig, M. C., Ingrassia, R. & De Souza Machado, A. A. Microplastic Incorporation into Soil in Agroecosystems. *Front. Plant Sci.* 8, 1805 (2017). <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01805>

- Rogers, T. The political economy of autism. Substack. <https://tobyrogers.substack.com/p/the-political-economy-of-autism> (Accessed May 1, 2025).
- Roman, L., Hardesty, B. D., Hindell, M. A. & Wilcox, C. A quantitative analysis linking seabird mortality and marine debris ingestion. *Sci Rep* 9, 3202 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41598-018-36585-9>
- Romera-Castillo, C. et al. Abiotic plastic leaching contributes to ocean acidification. *Science of The Total Environment* 854, 158683 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158683>
- Romps, D. M., Seeley, J. T., Vollaro, D. & Molinari, J. Projected increase in lightning strikes in the United States due to global warming. *Science* 346, 851–854 (2014). <https://doi.org/10.1126/science.1259100>
- Rosenthal, Y. et al. Pacific Ocean Heat Content During the Past 10,000 Years. *Science* 342, 617–621 (2013). <https://doi.org/10.1126/science.1240837>
- Rosenthal, Y., Linsley, B. K., & Oppo, D. W. (2013). Pacific Ocean Heat Content During the Past 10,000 Years. *Science*, 342(6158), 617–621. <https://doi.org/10.1126/science.1240837>; Oppo, D. (2013, October 31). Is Global Heating Hiding Out in the Oceans? <https://www.earth.columbia.edu/articles/view/3130> (Accessed May 1, 2025)
- Rubin, B. S. Bisphenol A: An endocrine disruptor with widespread exposure and multiple effects. *The Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology* 127, 27–34 (2011). <https://doi.org/10.1016/j.jsbmb.2011.05.002>
- Sajjad, M. et al. Microplastics in the soil environment: A critical review. *Environmental Technology & Innovation* 27, 102408 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102408>
- Sarkar, P., Xavier, K. A. M., Shukla, S. P. & Rathi Bhuvaneswari, G. Nanoplastic exposure inhibits growth, photosynthetic pigment synthesis and oxidative enzymes in microalgae: A new threat to primary producers in aquatic environment. *Journal of Hazardous Materials Advances* 17, 100613 (2025). <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2025.100613>
- Savoca, M. S., McInturf, A. G. & Hazen, E. L. Plastic ingestion by marine fish is widespread and increasing. *Global Change Biology* 27, 2188–2199 (2021). <https://doi.org/10.1111/gcb.15533>
- Savoca, M. S., Wohlfeil, M. E., Ebeler, S. E. & Nevitt, G. A. Marine plastic debris emits a keystone infochemical for olfactory foraging seabirds. *Sci. Adv.* 2, e1600395 (2016). <https://doi.org/10.1126/sciadv.1600395>
- Schmidt, C. et al. A multidisciplinary perspective on the role of plastic pollution in the triple planetary crisis. *Environment International* 193, 109059 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.109059>
- Schmidt, C., Krauth, T. & Wagner, S. Export of Plastic Debris by Rivers into the Sea. *Environ. Sci. Technol.* 51, 12246–12253 (2017). <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b02368>
- Schymanski, D., Goldbeck, C., Humpf, H.-U. & Fürst, P. Analysis of microplastics in water by micro-Raman spectroscopy: Release of plastic particles from different packaging into mineral water. *Water Research* 129, 154–162 (2018). <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.11.011>

- Science News Explores. Seafloor hosts surprising number of deep-sea vents. (2016) <https://www.snxplores.org/article/seafloor-hosts-surprising-number-deep-sea-vents> (Accessed May 10, 2025).
- ScienceDirect. Food allergy. ScienceDirect Topics. <https://www.sciencedirect.com/topics/pharmacology-toxicology-and-pharmaceutical-science/food-allergy> (Accessed May 1, 2025).
- ScienceDirect. Inflammatory bowel disease. ScienceDirect Topics. <https://www.sciencedirect.com/topics/pharmacology-toxicology-and-pharmaceutical-science/inflammatory-bowel-disease> (Accessed May 1, 2025).
- ScienceDirect. Ingestion. ScienceDirect Topics. <https://www.sciencedirect.com/topics/biochemistry-genetics-and-molecular-biology/ingestion> (Accessed May 1, 2025).
- Scott C. Doney, D. Shallin Busch, Sarah R. Cooley and Kristy J. Kroeker. The Impacts of Ocean Acidification on Marine Ecosystems and Reliant Human Communities. *Annual Review of Environment and Resources* 45, 83–112 (2020). <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-012320-083019>
- Senathirajah, K. et al. Estimation of the mass of microplastics ingested – A pivotal first step towards human health risk assessment. *Journal of Hazardous Materials* 404, 124004 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124004>
- Shafea, L. et al. Microplastics in agroecosystems: A review of effects on soil biota and key soil functions. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 186, 5–22 (2023). <https://doi.org/10.1002/jpln.202200136>
- Shanwei Government. Content on environmental health. Microplastics found in the human body for the first time, are they harmful to health? Here's the answer. https://www.shanwei.gov.cn/swbj/467/503/content/post_550539.html (Accessed May 1, 2025).
- Shapiro-Mendoza, C. K. et al. Sudden Unexpected Infant Deaths: 2015–2020. *Pediatrics* 151, e2022058820 (2023). <https://doi.org/10.1542/peds.2022-058820>
- Sharma, R. K. et al. Impact of Microplastics on Pregnancy and Fetal Development: A Systematic Review. *Cureus* 16, e60712 (2024). <https://doi.org/10.7759/cureus.60712>
- Sharqawy, M. H., Lienhard, J. H. & Zubair, S. M. Thermophysical properties of seawater: a review of existing correlations and data. *Desalination and Water Treatment* 16, 354–380 (2010). <https://doi.org/10.5004/dwt.2010.1079>
- Shaw, D. B., Li, Q., Nunes, J. K. & Deike, L. Ocean emission of microplastic. *PNAS Nexus* 2, pgad296 (2023). <https://doi.org/10.1093/pnasnexus/pgad296>
- Smith, A. L. M., Whitehall, J. C. & Greaves, L. C. Mitochondrial DNA mutations in ageing and cancer. *Molecular Oncology* 16, 3276–3294 (2022). <https://doi.org/10.1002/1878-0261.13291>
- Sofield, C. E., Anderton, R. S. & Gorecki, A. M. Mind over Microplastics: Exploring Microplastic-Induced Gut Disruption and Gut-Brain-Axis Consequences. *Current Issues in Molecular Biology* 46, 4186–4202 (2024). <https://doi.org/10.3390/cimb46050256>

- Sori, M. M. & Bramson, A. M. Water on Mars, With a Grain of Salt: Local Heat Anomalies Are Required for Basal Melting of Ice at the South Pole Today. *Geophysical Research Letters* 46, 1222–1231 (2019). <https://doi.org/10.1029/2018GL080985>
- Stallings, E. B. et al. National population-based estimates for major birth defects, 2016–2020. *Birth Defects Research* 116, e2301 (2024). <https://doi.org/10.1002/bdr2.2301>
- Strass, V. H., Rohardt, G., Kanzow, T., Hoppema, M. & Boebel, O. Multidecadal warming and density loss in the Deep Weddell Sea, Antarctica. *Journal of Climate* 33, 9863–9881 (2020). <https://doi.org/10.1175/jcli-d-20-0271.1>
- Su, M. et al. Toxicity Mechanisms of Microplastic and Its Effects on Ruminant Production: A Review. *Biomolecules* 15, 462 (2025). <https://doi.org/10.3390/biom15040462>
- Sun, D., Li, F., Jing, Z., Hu, S., & Zhang, B. (2023). Frequent marine heatwaves hidden below the surface of the global ocean. *Nature Geoscience*, 16(12), 1099–1104. <https://doi.org/10.1038/s41561-023-01325-w>
- Sun, Q. et al. Association of Urinary Concentrations of Bisphenol A and Phthalate Metabolites with Risk of Type 2 Diabetes: A Prospective Investigation in the Nurses' Health Study (NHS) and NHSII Cohorts. *Environ Health Perspect* 122, 616–623 (2014). <https://doi.org/10.1289/ehp.1307201>
- Sun, R. et al. Preliminary study on impacts of polystyrene microplastics on the hematological system and gene expression in bone marrow cells of mice. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 218, 112296 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112296>
- Sun, XD., Yuan, XZ., Jia, Y. et al. Differentially charged nanoplastics demonstrate distinct accumulation in *Arabidopsis thaliana*. *Nat. Nanotechnol.* 15, 755–760 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41565-020-0707-4>
- Sunaga, N., Okochi, H., Niida, Y. & Miyazaki, A. Alkaline extraction yields a higher number of microplastics in forest canopy leaves: implication for microplastic storage. *Environ Chem Lett* 22, 1599–1606 (2024). <https://doi.org/10.1007/s10311-024-01725-3>
- Susanti, R., Yuniastuti, A. & Fibriana, F. The Evidence of Microplastic Contamination in Central Javanese Local Ducks from Intensive Animal Husbandry. *Water Air Soil Pollut* 232, 178 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11270-021-05142-y>
- Sustainable Plastics. Scientists find microplastics in clouds above Mount Fuji. Sustainable Plastics. <https://www.sustainableplastics.com/news/scientists-find-microplastics-clouds-above-mount-fuji> (Accessed May 1, 2025).
- Symeonides, C., Vacy, K., Thomson, S. et al. Male autism spectrum disorder is linked to brain aromatase disruption by prenatal BPA in multimodal investigations and 10HDA ameliorates the related mouse phenotype. *Nat Commun* 15, 6367 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41467-024-48897-8>
- Taylor, R., Turnbull, D. Mitochondrial DNA mutations in human disease. *Nat Rev Genet* 6, 389–402 (2005). <https://doi.org/10.1038/nrg1606>

The Cool Down. 'Experts raise concerns about record-breaking phenomenon observed in Atlantic Ocean: 'It's just astonishing'. (2024) <https://www.thecooldown.com/outdoors/ocean-temperature-pollution-sudden-spike/> (Accessed May 10, 2025)

The European Space Agency (ESA). <https://www.esa.int> (Accessed May 1, 2025).

The Guardian. Autism could be diagnosed with stool sample, scientists say. <https://www.theguardian.com/science/article/2024/jul/08/autism-could-be-diagnosed-with-stool-sample-microbes-research> (Accessed May 1, 2025).

The Guardian. Hot blob: vast patch of warm water off New Zealand coast puzzles scientists. (2019) <https://www.theguardian.com/world/2019/dec/27/hot-blob-vast-and-unusual-patch-of-warm-water-off-new-zealand-coast-puzzles-scientists> (Accessed May 10, 2025).

The Guardian. Mental health overtakes cancer and obesity as Britons' biggest health worry. (2024) <https://www.theguardian.com/society/2024/sep/20/mental-health-overtakes-cancer-and-obesity-as-britons-biggest-health-worry> (Accessed May 1, 2025).

The Guardian. Scientists unveil bionic robo-fish to remove microplastics from seas. <https://www.theguardian.com/environment/2022/jun/22/scientists-unveil-bionic-robo-fish-to-remove-microplastics-from-seas> (Accessed May 1, 2025).

The Guardian. Shanna Swan: 'Most couples may have to use assisted reproduction by 2045'. (2021) <https://www.theguardian.com/society/2021/mar/28/shanna-swan-fertility-reproduction-count-down> (Accessed May 1, 2025).

The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1> (Accessed May 1, 2025).

The International Union for Conservation of Nature (IUCN). Ocean deoxygenation. <https://iucn.org/resources/issues-brief/ocean-deoxygenation> (Accessed May 1, 2025).

The Ocean Foundation. Ocean conservation. The Ocean Foundation. <https://oceanfdn.org> (Accessed May 1, 2025).

The Pennsylvania State University Research. Microplastics impact cloud formation, likely affecting weather and climate. (2024) <https://www.psu.edu/news/research/story/microplastics-impact-cloud-formation-likely-affecting-weather-and-climate> (Accessed May 1, 2025).

Thompson, R. C. et al. Twenty years of microplastic pollution research—what have we learned? Science 386, ead12746 (2024). <https://doi.org/10.1126/science.adl2746>

Tikhonova, D. A., Karetnikov, S. G., Ivanova, E. V. & Shalunova, E. P. The Vertical Distribution of Microplastics in the Water Column of Lake Ladoga. Water Resour 51, 146–153 (2024). <https://doi.org/10.1134/S009780782370063X>

Trasande, L. et al. Prenatal phthalate exposure and adverse birth outcomes in the USA: a prospective analysis of births and estimates of attributable burden and costs. The Lancet Planetary Health 8, e74–e85 (2024). [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(23\)00270-X](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(23)00270-X)

Tsujimura, A. et al. Erectile Function and Sexual Activity Are Declining in the Younger Generation: Results from a National Survey in Japan. The World Journal of Men's Health 43, 239–248 (2025). <https://doi.org/10.5534/wjmh.240137>

Tuna, A., Taş, B.M., Başaran Kankılıç, G. et al. Detection of microplastics in patients with allergic rhinitis. Eur Arch Otorhinolaryngol 280, 5363–5367 (2023). <https://doi.org/10.1007/s00405-023-08105-7>

U.S. Department Of Health And Human Services. 2022 National Healthcare Quality and Disparities Report. Rockville, MD: Agency for Healthcare Research and Quality. (2022) <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK587174> (Accessed May 1, 2025).

United Nations Development Programme. Ocean hypoxia: Dead zones. <https://www.undp.org/publications/issue-brief-ocean-hypoxia-dead-zones> (Accessed May 1, 2025).

United Nations Environment Programme (2021). From Pollution to Solution: A global assessment of marine litter and plastic pollution. Nairobi. <https://www.unep.org/resources/pollution-solution-global-assessment-marine-litter-and-plastic-pollution> (Accessed May 1, 2025)

United Nations Environment Programme (UNEP) Beat plastic pollution <https://www.unep.org/interactives/beat-plastic-pollution> (accessed: 1 May 2025)

United Nations Environment Programme. Chemicals in Plastics - A Technical Report (2023). <https://www.unep.org/resources/report/chemicals-plastics-technical-report> (Accessed May 1, 2025)

United Nations Environment Programme. Monitoring Plastics in Rivers and Lakes: Guidelines for the Harmonization of Methodologies. (2020) <https://www.unep.org/resources/report/monitoring-plastics-rivers-and-lakes-guidelines-harmonization-methodologies> (Accessed May 1, 2025)

United Nations Environment Programme (UNEP). Beat plastic pollution <https://www.unep.org/interactives/beat-plastic-pollution> (accessed: 1 May 2025)

United Nations Malaysia. Policy brief on solid waste management. UN Malaysia. https://malaysia.un.org/sites/default/files/2022-02/POLSOLSum_1.pdf (Accessed May 1, 2025).

University of Newcastle. Plastic ingestion by people could be equating to a credit card a week. <https://www.newcastle.edu.au/newsroom/featured/plastic-ingestion-by-people-could-be-equating-to-a-credit-card-a-week> (Accessed May 1, 2025)

University of Stirling. Hitch-hiking viruses can survive on microplastics in freshwater, new study finds. (2022) <https://www.stir.ac.uk/news/2022/june-2022-news/hitch-hiking-viruses-can-survive-on-microplastics-in-freshwater-new-study-finds> (Accessed May 1, 2025).

- Valero, D., Belay, B. S., Moreno-Rodenas, A., Kramer, M. & Franca, M. J. The key role of surface tension in the transport and quantification of plastic pollution in rivers. *Water Research* 226, 119078 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.119078>
- Van der Veen, I., van Mourik, L.M., van Velzen, M.J.M., Groenewoud, Q.R., & Leslie, H.A. Plastic particles in livestock feed, milk, meat and blood: A pilot study. Report EH22-01, 29 April 2022. <https://vakbladvoedingsindustrie.nl/storage/app/media/Rapporten/rapporten%202022/07-juli/VOE-2022-JUL-PLASTICSOUP.pdf> (Accessed May 1, 2025)
- Van Schependom, J. & D'haeseleer, M. Advances in Neurodegenerative Diseases. *Journal of Clinical Medicine* 12, 1709 (2023). <https://doi.org/10.3390/jcm12051709>
- Van Sebille, E., England, M. H. & Froyland, G. Origin, dynamics and evolution of ocean garbage patches from observed surface drifters. *Environ. Res. Lett.* 7, 044040 (2012). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/7/4/044040>
- Vanuytsel, T., Bercik, P. & Boeckxstaens, G. Understanding neuroimmune interactions in disorders of gut–brain interaction: from functional to immune-mediated disorders. *Gut* 72, 787–798 (2023). <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2020-320633>
- Vieira, F., & Hamza, V. M. Global heat flow: New estimates using digital maps and GIS techniques. *Int. J. Terr. Heat Flow Appl. Geotherm.* 1, 6–13 (2018).
- Villarrubia-Gómez, P., Carney Almroth, B., Eriksen, M., Ryberg, M. & Cornell, S. E. Plastics pollution exacerbates the impacts of all planetary boundaries. *One Earth* 7, 2119–2138 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2024.10.017>
- Viterito, A. 1995: An Important Inflection Point in Recent Geophysical History. *Int. J. Environ. Sci. Nat. Res.* 29, 556271 (2022). <https://doi.org/10.19080/IJESNR.2022.29.556271>
- Völker, J., Ashcroft, F., Vedøy, Å., Zimmermann, L. & Wagner, M. Adipogenic Activity of Chemicals Used in Plastic Consumer Products. *Environ. Sci. Technol.* 56, 2487–2496 (2022). <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c06316>
- VRT NWS. Brain contains “full plastic spoonful” of microplastics. (2025) <https://www.vrt.be/vrtnws/nl/2025/02/04/microplastics-in-de-hersenen> (Accessed May 1, 2025).
- Wan, Y., Wu, C., Xue, Q. & Hui, X. Effects of plastic contamination on water evaporation and desiccation cracking in soil. *Science of The Total Environment* 654, 576–582 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.123>
- Wang, Y. et al. Airborne hydrophilic microplastics in cloud water at high altitudes and their role in cloud formation. *Environ Chem Lett* 21, 3055–3062 (2023). <https://doi.org/10.1007/s10311-023-01626-x>
- Wang, Y. et al. Robust, Healable, Self-Locomotive Integrated Robots Enabled by Noncovalent Assembled Gradient Nanostructure. *Nano Lett.* 22, 5409–5419 (2022). <https://doi.org/10.1021/acs.nanolett.2c01375>

- Wang, Y., Okochi, H., Tani, Y. et al. Airborne hydrophilic microplastics in cloud water at high altitudes and their role in cloud formation. *Environ Chem Lett* 21, 3055–3062 (2023). <https://doi.org/10.1007/s10311-023-01626-x>
- Wei, W. et al. Analyzing the Trends and Causes of Birth Defects — Jinan City, Shandong Province, China, 2005–2022. *CCDCW* 5, 978–983 (2023). <https://doi.org/10.46234/ccdcw2023.184>
- Welch, B. M. et al. Associations Between Prenatal Urinary Biomarkers of Phthalate Exposure and Preterm Birth: A Pooled Study of 16 US Cohorts. *JAMA Pediatrics* 176, 895–905 (2022). <https://doi.org/10.1001/jamapediatrics.2022.2252>
- Windheim, J. et al. Micro- and Nanoplastics' Effects on Protein Folding and Amyloidosis. *International Journal of Molecular Sciences* 23, 10329 (2022). <https://doi.org/10.3390/ijms231810329>
- Winiarska, E., Jutel, M. & Zemelka-Wiacek, M. The potential impact of nano- and microplastics on human health: Understanding human health risks. *Environmental Research* 251, 118535 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118535>
- Wong, A. P. S. et al. Argo Data 1999–2019: Two Million Temperature-Salinity Profiles and Subsurface Velocity Observations From a Global Array of Profiling Floats. *Front. Mar. Sci.* 7, 00700 (2020). <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00700>
- Wong, M. H. et al. Evolution of the Horizontal Winds in Jupiter's Great Red Spot From One Jovian Year of HST/WFC3 Maps. *Geophysical Research Letters* 48, e2021GL093982 (2021). <https://doi.org/10.1029/2021GL093982>
- Woods Hole Oceanographic Institution. Warming ocean. WHOI Argo. <https://www2.whoi.edu/site/argo/impacts/warming-ocean> (Accessed May 1, 2025).
- World Energy Council. World Energy Resources: Solar 2013. (2013) <https://www.worldenergy.org/publications> (Accessed May 10, 2025).
- World Health Organization. 1 in 10 babies worldwide are born early, with major impacts on health and survival. (2023) <https://www.who.int/news/item/06-10-2023-1-in-10-babies-worldwide-are-born-early-with-major-impacts-on-health-and-survival> (Accessed May 1, 2025).
- World Health Organization. 1 in 6 people globally affected by infertility. (2023) <https://www.who.int/news/item/04-04-2023-1-in-6-people-globally-affected-by-infertility> (Accessed May 1, 2025).
- World Health Organization. Global cancer burden growing, amidst mounting need for services. (2024) <https://www.who.int/news/item/01-02-2024-global-cancer-burden-growing-amidst-mounting-need-for-services> (Accessed May 1, 2025).
- World Health Organization. Mental disorders. WHO Fact Sheets. (2022) <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/mental-disorders> (Accessed May 1, 2025).

- World Health Organization. Obesity and overweight. WHO Fact Sheets. (2025) <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight> (Accessed May 10, 2025).
- World Health Organization. The top 10 causes of death. WHO Fact Sheets. (2024) <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death> (Accessed May 1, 2025).
- World Health Organization. WHO releases first-ever list of health-threatening fungi. (2022) <https://www.who.int/news/item/25-10-2022-who-releases-first-ever-list-of-health-threatening-fungi> (Accessed May 1, 2025).
- World Meteorological Organization (WMO) confirms 2024 as warmest year on record at about 1.55°C above pre-industrial level. <https://wmo.int/news/media-centre/wmo-confirms-2024-warmest-year-record-about-155degc-above-pre-industrial-level> (Accessed May 1, 2025).
- World Meteorological Organization (WMO). State of the Global Climate 2024. <https://wmo.int/publication-series/state-of-global-climate-2024> (Accessed May 1, 2025).
- Wu, Y. et al. Effect of microplastics exposure on the photosynthesis system of freshwater algae. *Journal of Hazardous Materials* 374, 219–227 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.04.039>
- WWF-Australia. How many birds die from plastic pollution? <https://wwf.org.au/blogs/how-many-birds-die-from-plastic-pollution> (Accessed May 1, 2025).
- Xu, G., Strathearn, L., Liu, B., Yang, B. & Bao, W. Twenty-Year Trends in Diagnosed Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder Among US Children and Adolescents, 1997-2016. *JAMA Network Open* 1, e181471 (2018). <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2018.1471>
- Xu, M. et al. Internalization and toxicity: A preliminary study of effects of nanoplastic particles on human lung epithelial cell. *Science of The Total Environment* 694, 133794 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133794>
- Yadav, A., Vuković, L. & Narayan, M. An Atomic and Molecular Insight into How PFOA Reduces α -Helicity, Compromises Substrate Binding, and Creates Binding Pockets in a Model Globular Protein. *J. Am. Chem. Soc.* 146, 12766–12777 (2024). <https://doi.org/10.1021/jacs.4c02934>
- Yee, M. S.-L. et al. Impact of Microplastics and Nanoplastics on Human Health. *Nanomaterials* 11, 496 (2021). <https://doi.org/10.3390/nano11020496>
- Yöntem, F. D. & Ahbab, M. A. Mitochondria as a target of micro- and nanoplastic toxicity. *Cambridge Prisms: Plastics* 2, e6 (2024). <https://doi.org/10.1017/plc.2024.6>
- Yoshida, S. et al. A bacterium that degrades and assimilates poly(ethylene terephthalate). *Science* 351, 1196–1199 (2016). <https://doi.org/10.1126/science.aad6359>
- Yu, H., Zhang, Y., Tan, W. & Zhang, Z. Microplastics as an Emerging Environmental Pollutant in Agricultural Soils: Effects on Ecosystems and Human Health. *Front. Environ. Sci.* 10, 855292 (2022). <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.855292>

- Yu, R.-S. & Singh, S. Microplastic Pollution: Threats and Impacts on Global Marine Ecosystems. *Sustainability* 15, 13252 (2023). <https://doi.org/10.3390/su151713252>
- Zaheer, J. et al. Pre/post-natal exposure to microplastic as a potential risk factor for autism spectrum disorder. *Environment International* 161, 107121 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107121>
- Zajac, M. et al. Exposure to polystyrene nanoparticles leads to changes in the zeta potential of bacterial cells. *Sci Rep* 13, 9552 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-36603-5>
- Zeidan, J. et al. Global prevalence of autism: A systematic review update. *Autism Research* 15, 778–790 (2022). <https://doi.org/10.1002/aur.2696>
- Zhang, J., Wang, L., Trasande, L. & Kannan, K. Occurrence of Polyethylene Terephthalate and Polycarbonate Microplastics in Infant and Adult Feces. *Environ. Sci. Technol. Lett.* 8, 989–994 (2021). <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.1c00559>
- Zhang, W. et al. The mechanism for adsorption of Cr(VI) ions by PE microplastics in ternary system of natural water environment. *Environmental Pollution* 257, 113440 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113440>
- Zhang, Y. et al. Selective bioaccumulation of polystyrene nanoplastics in fetal rat brain and damage to myelin development. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 278, 116393 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.116393>
- Zhang, Y., Wang, J., Yang, H. & Guan, Y. The potential mechanisms underlying phthalate-induced hypospadias: a systematic review of rodent model studies. *Front. Endocrinol.* 15, (2024). <https://doi.org/10.3389/fendo.2024.1490011>
- Zhang, Y.-W. et al. Bridging relevance between microplastics, human health and bone metabolism: Emerging threats and research directions. *Environmental Chemistry and Ecotoxicology* 6, 422–435 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.enccco.2024.08.006>
- Zhong, Y. et al. Global, regional and national burdens of bipolar disorders in adolescents and young adults: a trend analysis from 1990 to 2019. *Gen Psych* 37, e101255 (2024). <https://doi.org/10.1136/gpsych-2023-101255>
- Zhu, R. et al. A global estimate of multiecosystem photosynthesis losses under microplastic pollution. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 122, e2423957122 (2025). <https://doi.org/10.1073/pnas.2423957122>
- Zuin, M. et al. Trends in Sudden Cardiac Death Among Adults Aged 25 to 44 Years in the United States: An Analysis of 2 Large US Databases. *JAHA* 14, e035722 (2025). <https://doi.org/10.1161/JAHA.124.035722>