

ULAT

MICROPLASTICS
AT NANOPLASTICS

NANOPLASTICS SA BIOSPHERE

MULA SA EPEKTO NG MOLECULAR
HANGGANG SA KRISIS SA PLANETA



ULAT

NANOPLASTICS SA BIOSPHERE

MULA SA EPEKTO NG MOLECULAR
HANGGANG SA KRISIS SA PLANETA

AUTHOR



Internasyonal na pampublikong kilusan "ALLATRA"

REPASONG INSTITUSYONAL
Akademikong Pagtutulongan



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"

Annotasyon.....5

Mga kahihinatnan ng plastik na polusyon: micro- at nanoplastics (MNP) bilang isang bagong kadahilanan sa krisis sa planeta.....7

 Dami ng pagtatantya at mga uso sa pandaigdigang produksyon ng basurang plastik.....7

 Ang dakilang tagpi ng basura sa Pasipiko.....12

 Mga proseso ng pagbuo ng MNP.....12

 Pamamahagi ng MNP sa kapaligiran.....18

Mga Epekto sa Kapaligiran at Klima ng Micro- at Nanoplastic na Polusyon.....23

 Paano Sinisira ng mga MNP ang Ecosystem sa Antas ng Molekular.....23

Ang Epekto ng Micro at Nanoplastics sa Klima.....46

Epekto ng micro- at nanoplastics sa kalusugan ng tao.....71

 Micro at Nanoplastic bilang isang bagong kadahilanan ng panganib para sa pag-unlad ng mga epidemya sa ika-dalawampung isa siglo.....71

 Mga mekanismo ng molekular ng toxicity ng MNP. Pinsala sa DNA, mitochondria at mga lamad ng selula.....72

 Pakikilahok ng Micro at Nanoplastic sa mga mekanismo ng napaaga na pagtanda at oncogenesis.....84

 Destabilisasyon ng sistema ng hormonal sa ilalim ng impluwensya ng MNP.....87

 Electrostatic charge ng nanoplastic bilang isang pangunahing kadahilanan sa pagtaas ng toxicity nito sa katawan ng tao.....93

 Sistematiko na epekto ng MNP sa mga organo ng tao at mga functional na sistema.....100

 Mga mekanismo ng pinsala sa sistema ng paghinga kapag nilalanghap ang MNP.....101

 Neurotoxic na epekto ng MNP. Pinsala sa central at peripheral sistema ng nerbiyos.....102

 Pakikilahok ng MNP sa pathogenesis ng mga sakit sa cardiovascular.....114

 Pagkagambala ng gastrointestinal tract na sanhi ng MNP.....116

 Epekto ng MNP sa immune system.....117

 Oncogenic na epekto ng MNP. Mga mekanismo ng mutasyon at pag-unlad ng metastasis.....120

 Ang epekto ng MNP sa metabolismo ng calcium at istraktura ng buto.....121

 Mga karamdaman sa pampag-anak na nauugnay sa pagkakalantad sa MNP. Kawalan ng katabaan at erectile dysfunction.....122

 Pagpasok ng MNP sa pamamagitan ng hadlang sa placental at ang epekto nito sa pagbuo ng organismo.....126

 Mga kahihinatnan ng pagkakalantad sa MNP at ang koneksyon nito sa mga congenital anomalya.....130

 Mga konklusyon at inaasam-asam. Posible bang bawasan ang epekto ng MNP sa kalusugan ng tao?.....133

Pagsusuri ng mga makabagong paraan upang mabawasan ang polusyon sa plastik.....134

 Mga teknolohiya para sa pag-alis ng malalaking plastic mula sa aquatic ecosystem.....134

 Mga kasalukuyang pamamaraan para sa paglilinis ng micro- at nanoplastics.....139

Mga diskarte ng pang-agham na komunidad ng ALLATRA sa paglaban sa epidemya ng micro- at nanoplastics.....142

 Mga teknolohiya ng atmospheric water generators (AGV) para sa paglilinis ng karagatan mula sa mga MNP.....142

 Makabagong siyentipikong diskarte sa pagbabawas ng toxicity ng micro- at nanoplastics.....148

Factor X. Ang epekto ng micro- at nanoplastics sa dynamics ng cycle ng mga natural na kalamidad.....151

Mga konklusyon. Ang mga nanoplastics ay isang hamon na hindi maaaring balewalain.....171

Mga pinagmumulan.....173

ANNOTASYON

“Kung ang Lupa ay nag-iingat ng isang talaarawan, ito ay magsusulat sa itim na tinta tungkol sa huling siglo: ‘Ang Panahon ng Plastic.’” Mula sa mga mikroskopiko na butil na tumagos sa mga selula ng mga buhay na organismo hanggang sa mga higanteng isla ng basura sa karagatan, ang plastik ay naging mahalagang bahagi ng rekord ng heolohikal. Ngunit sa anong halaga?

Bawat taon, ang mundo ay gumagawa ng higit sa 400 milyong tonelada ng basurang plastik, kung saan humigit-kumulang 11 milyong tonelada ang napupunta sa mga karagatan. Mahigit 200 milyong tonelada ng plastik ang naipon na sa mga karagatan. Ang pagsusuri sa mga sample ng tubig sa ibabaw ay nagsiwalat na ang masa ng plastik ay lumampas sa masa ng zooplankton ng 6 na beses. Ito ay hinuhulaan na sa pamamagitan ng 2050 ang mass ng plastic sa karagatan ay lalampas sa mass ng isda.

Ang plastik ay nabubulok sa daan-daan o kahit libu-libong taon, ngunit sa ilalim ng impluwensya ng mga alon, tubig-alat at mga sinag ng ultraviolet ay nabubulok ito sa maliliit na butil - micro- at nanoplastics. Ang mga ito ay dinadala ng libu-libong kilometro sa pamamagitan ng hangin sa dagat at latak, tumatawid sa mga bansa, kontinente at karagatan, na naipon sa mga kagubatan at naroroon sa pagkain at tubig. Naabot pa ng microplastics ang malalayong sulok ng planeta, tulad ng Mariana Trench at ang summit ng Everest.

Ang ulat na ito ay nagbibigay ng isang malalim na analitikal na pagtatasa ng epekto ng plastic na polusyon sa kapaligiran, kalusugan ng tao at ang pagpapanatili ng mahahalagang sistema ng lipunan. Sinusuri ng ulat ang epekto ng micro- at nanoplastics, na may static na singil at naglalaman ng mga nakakalason na kemikal na tambalan, sa mga ecosystem. Partikular na binibigyang diin ang kanilang papel sa pag-asido ng karagatan, destabilisasyon ng mga kadena ng pagkain at mga banta sa biodiversity. Ang isang hypothesis ay iniharap tungkol sa impluwensya ng micro- at nanoplastics sa mga pagbabago sa mga katangian ng tubig, bilang isang resulta kung saan mayroong pinabilis na pag-init ng karagatan at ang mga natural na sakuna ay pinalala.

Isa sa mga pinaka-pressing at alarma na mga isyu na tinutugunan sa ulat ay ang epekto ng micro- at nanoplastics (MNPs) sa kalusugan ng tao. Dahil sa kanilang maliit na sukat, ang mga plastik na particle ay nagtagumpay sa mga biological na hadlang, na nagiging sanhi ng oxidative stress, pagkasira ng DNA, mga reaksiyong nagpapasiklab at pagkagambala sa mga function ng cellular. Ang partikular na atensyon ay binabayaran sa potensyal na ugnayan sa pagitan ng pagkakalantad sa mga MNP at ang pagtaas ng pagkalat ng mga sakit na neurodegenerative at neuropsychiatric. Ipinapakita ng ulat na ang pagkakalantad sa mga MNP sa isang umuunlad na organismo sa mga panahon ng prenatal at postnatal ay humahantong sa kapansanan sa pag-andar ng pag-iisip at kalusugan ng isip, na isang seryosong problema para sa kinabukasan ng sangkatauhan.

Ang pagtaas ng bilang ng mga sakit na dulot ng pagkakalantad sa micro- at nanoplastics ay makabuluhang nagpapalala sa kalidad ng buhay ng populasyon, lalo na sa mga rehiyon na may mataas na antas ng plastik na polusyon.

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 plastik na polusyon 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.

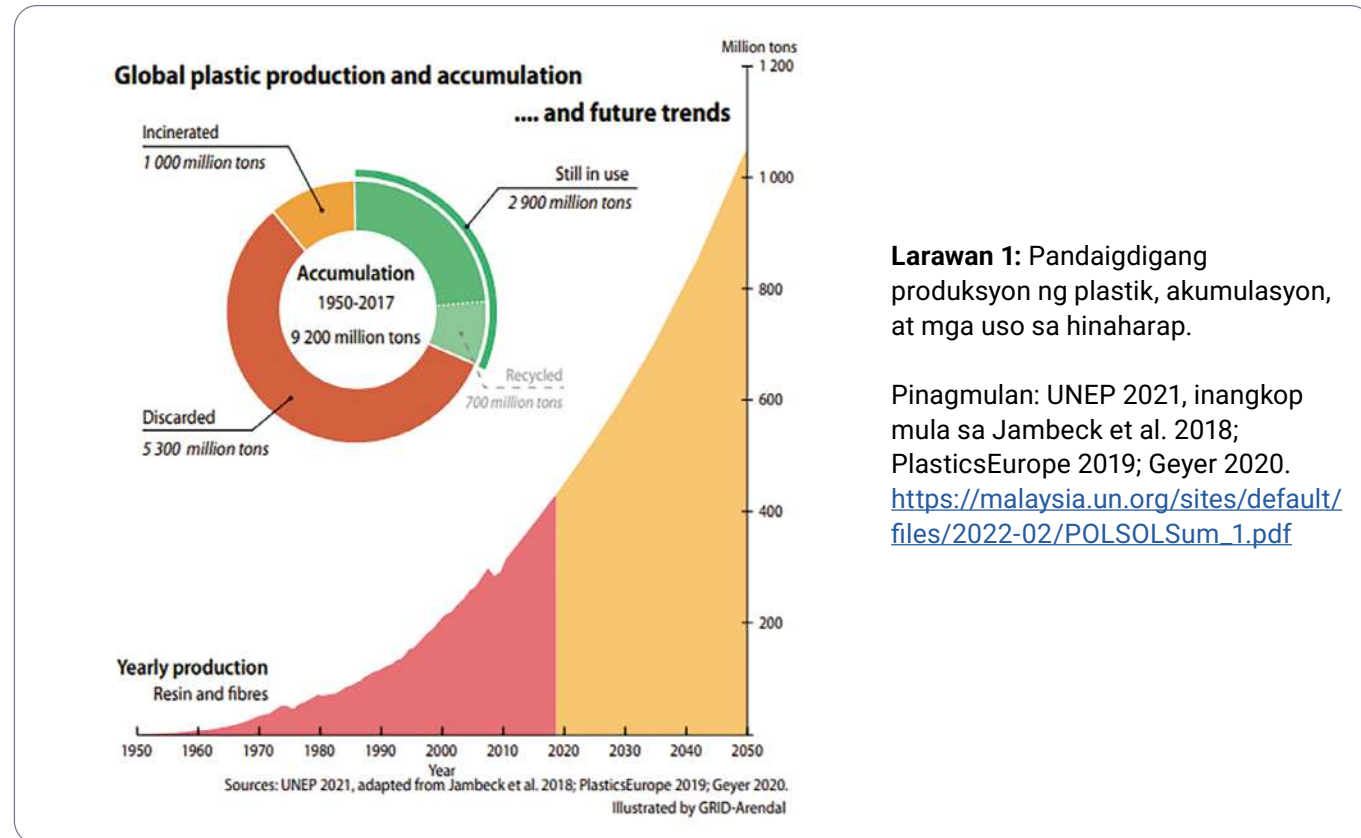
Kaya, ang plastik, dahil sa lakas, kakayahang magamit at mababang gastos, ay naging pangunahing materyal para sa mass production, kabilang ang mga disposable item¹. Ngunit ang hindi magandang pangangasiwa ng mga basurang plastik ay ginawa ang plastik na pinakamahalagang pollutant sa kapaligiran sa mundo.

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.



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>

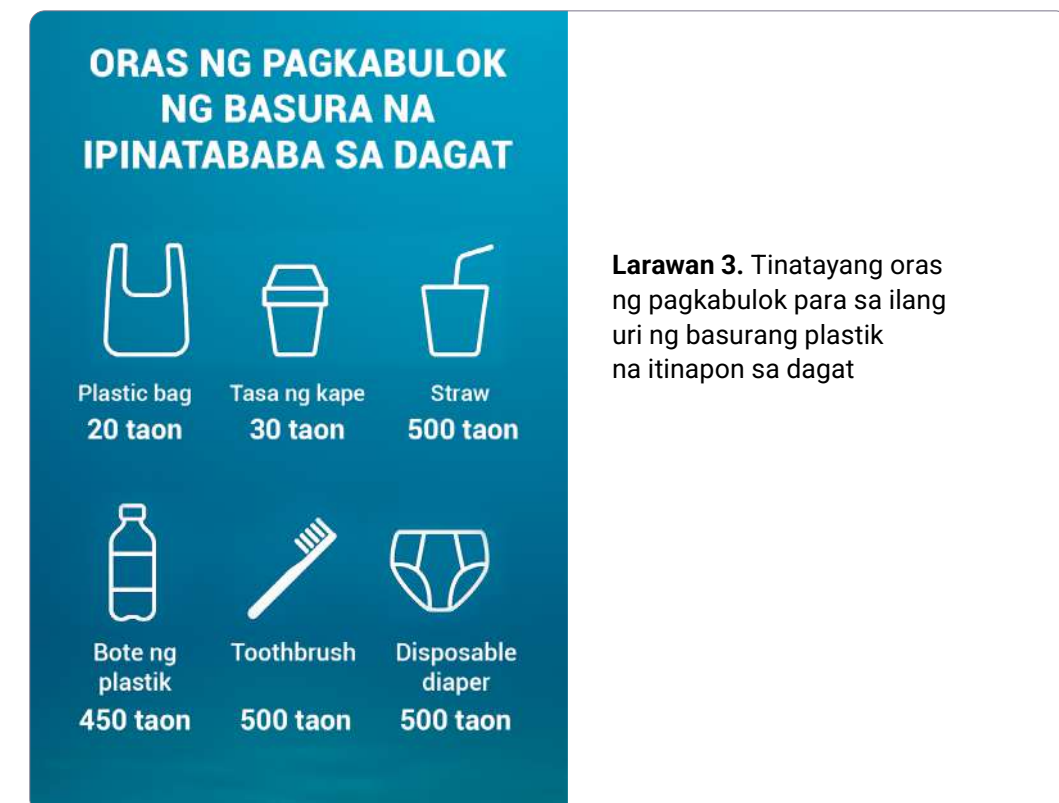
⁵Jenna R. Jambeck et al., Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science* 347, 768-771 (2015). <https://doi.org/10.1126/science.1260352>

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 negosyo gaya ng dati, 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.



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>

⁹Irigoin, 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 naaalisan. 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 plastik 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 plastik 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>

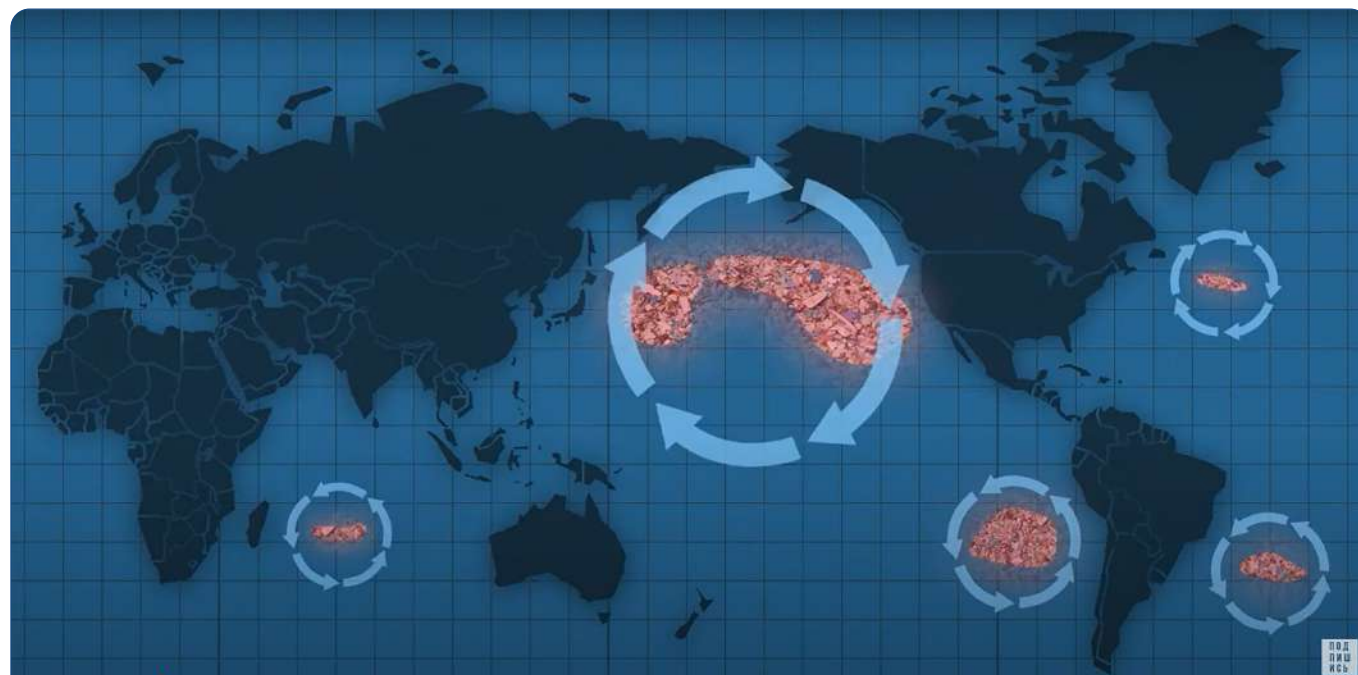
¹⁵Lebreton, L., Slat, B., Ferrari, F. et al. Evidence that the Great Pacific Garbage Patch is rapidly accumulating plastic. *Sci Rep* 8, 4666 (2018). <https://doi.org/10.1038/s41598-018-22939-w>

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.

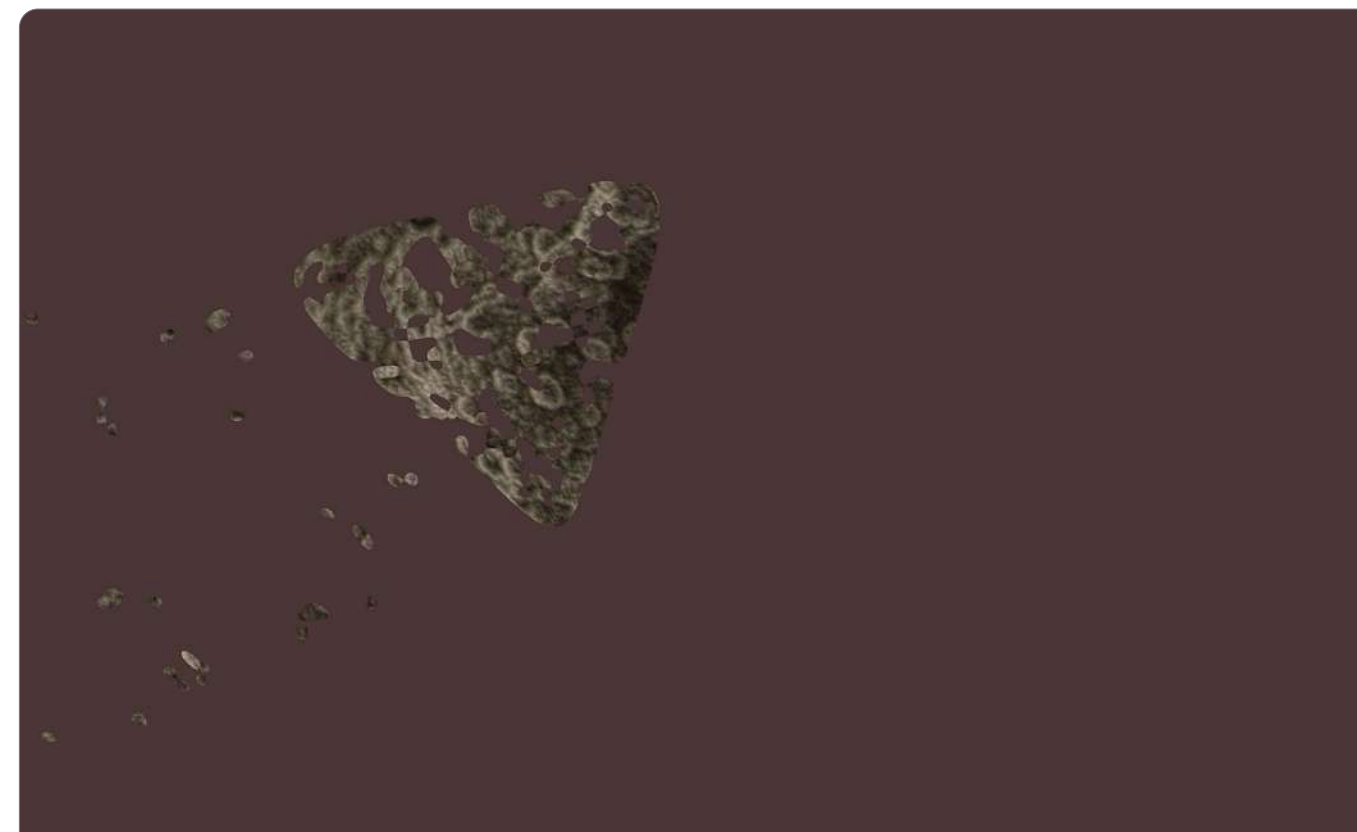


“Ang plastik ay naglalaman ng humigit-kumulang 16,000 na kemikal. Mahigit sa 4,200 sa mga ito ang kilala na patuloy sa kapaligiran, naipon sa mga buhay na organismo, dinadala sa malalayong distansya o nagdudulot ng potensyal na panganib,” sabi ni Propesor Annika Janke, isang chemist sa kapaligiran Helmholtz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



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>

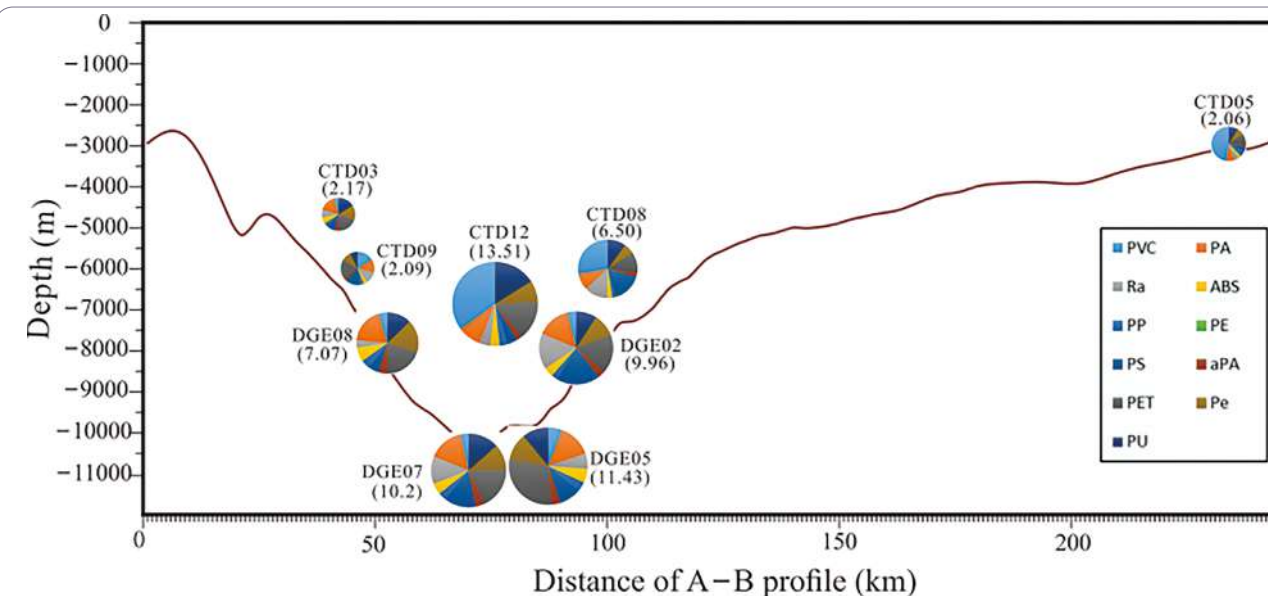
²⁴Eriksen, M. et al. A growing plastic smog, now estimated to be over 170 trillion plastic particles afloat in the world's oceans—Urgent solutions required. *PLoS ONE* 18, e0281596 (2023). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0281596>

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

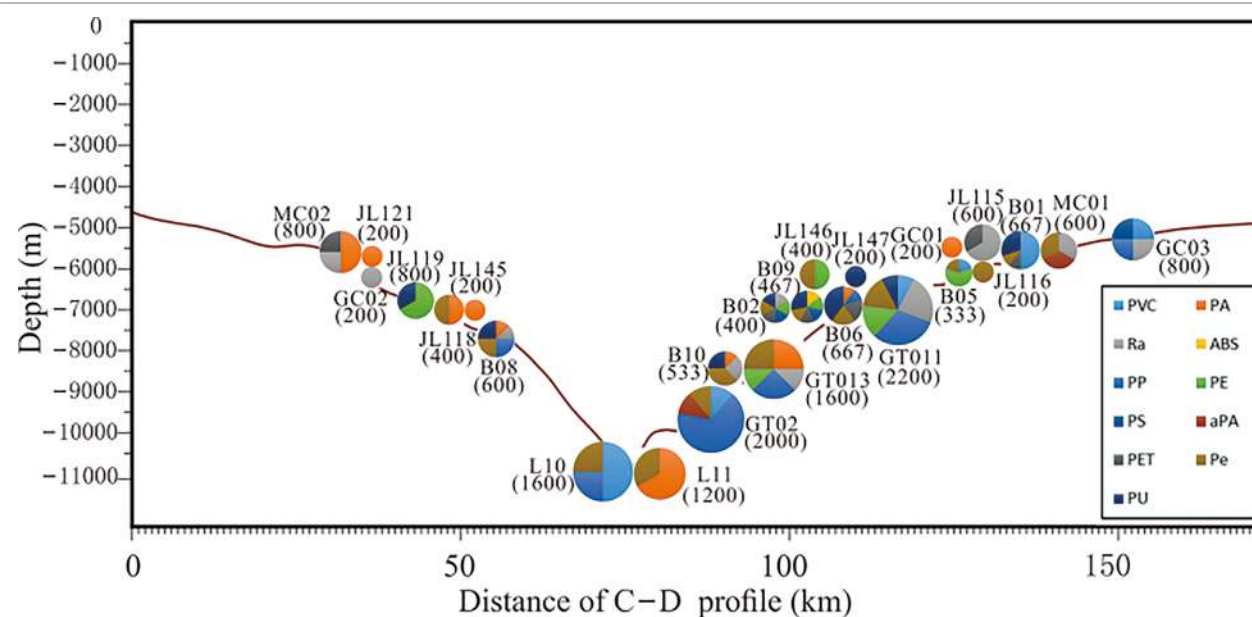
²⁷Peng, X. et al. Microplastics contaminate the deepest part of the world's ocean. *Geochem. Persp. Let.* 9, 1–5 (2018).

<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>



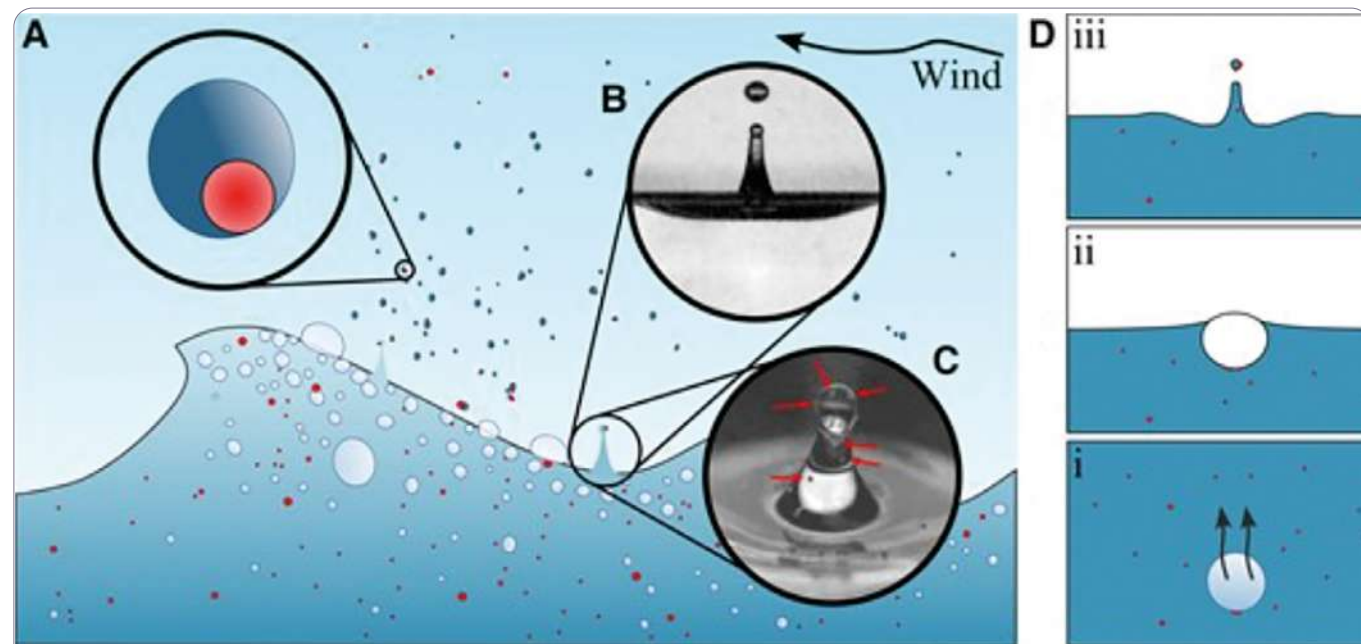
Larawan 9. Profile ng kasaganaan ng microplastic at profile ng komposisyon sa mga sample ng sediment mula sa Mariana Trench. Ang mga pie chart ay kumakatawan sa mga microplastic na komposisyon at ang mga numero sa panaklong ay kumakatawan sa kasaganaan ng microplastic sa mga piraso bawat litro. PVC (polyvinyl 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>

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/S](https://doi.org/10.1134/S009780782370063X)

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).

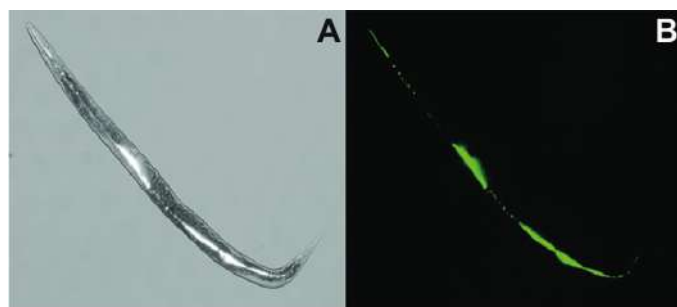
<https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01805>

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>

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 artisyal 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 kawalan ng timbang sa ekolohiya.

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,

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

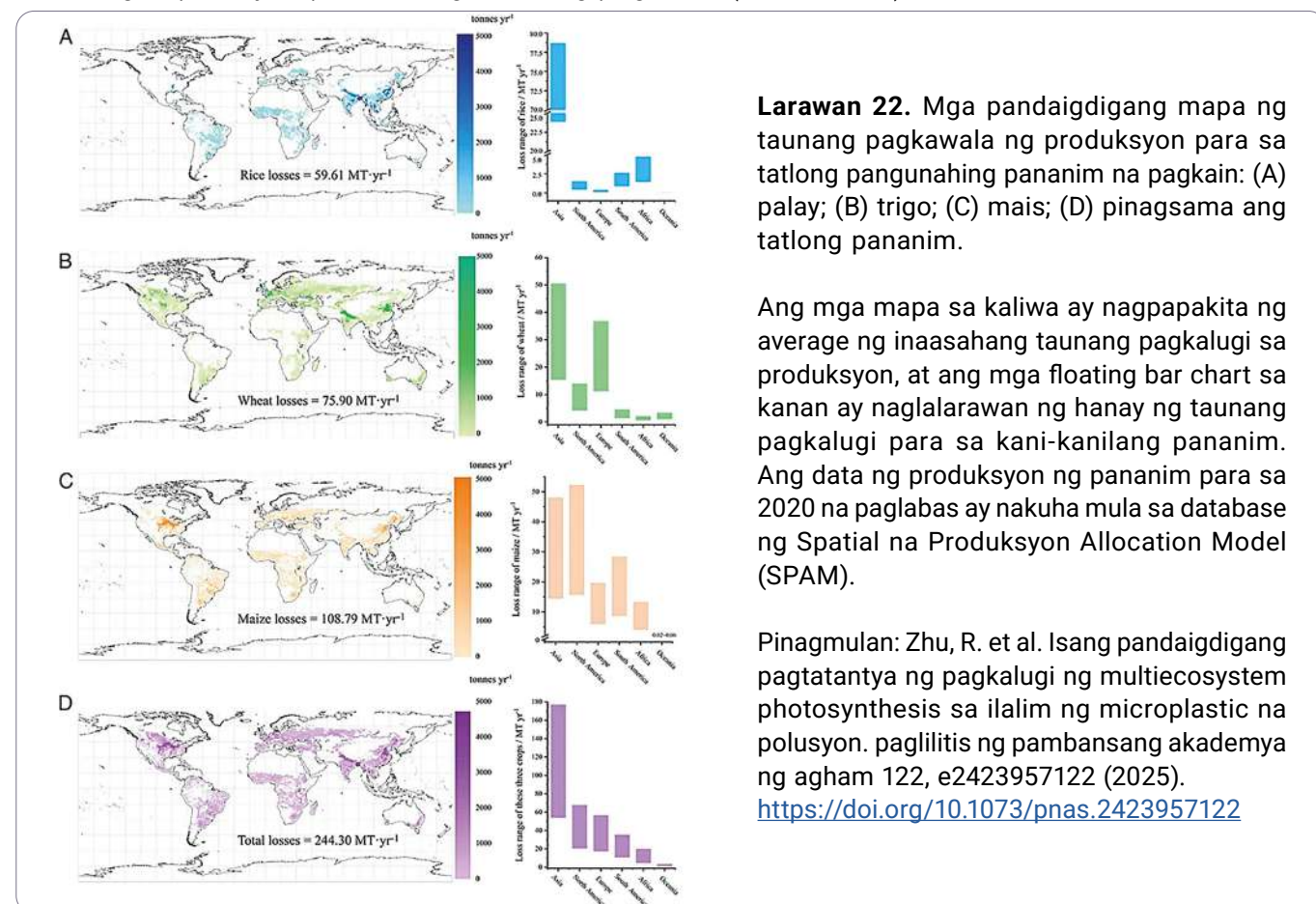
⁶⁸Bandmann, V., Müller, J. D., Köhler, T. & Homann, U. Uptake of fluorescent nano beads into BY2-cells involves clathrin-dependent and clathrin-independent endocytosis. *FEBS Letters* 586, 3626–3632 (2012). <https://doi.org/10.1016/j.febslet.2012.08.008>

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,

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-PLASTICSUP.pdf>

⁸⁸Galyon, H. et al. Long-term in situ ruminal degradation of biodegradable polymers in Holstein dairy cattle. *JDS Communications* 4, 70–74 (2023).

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).



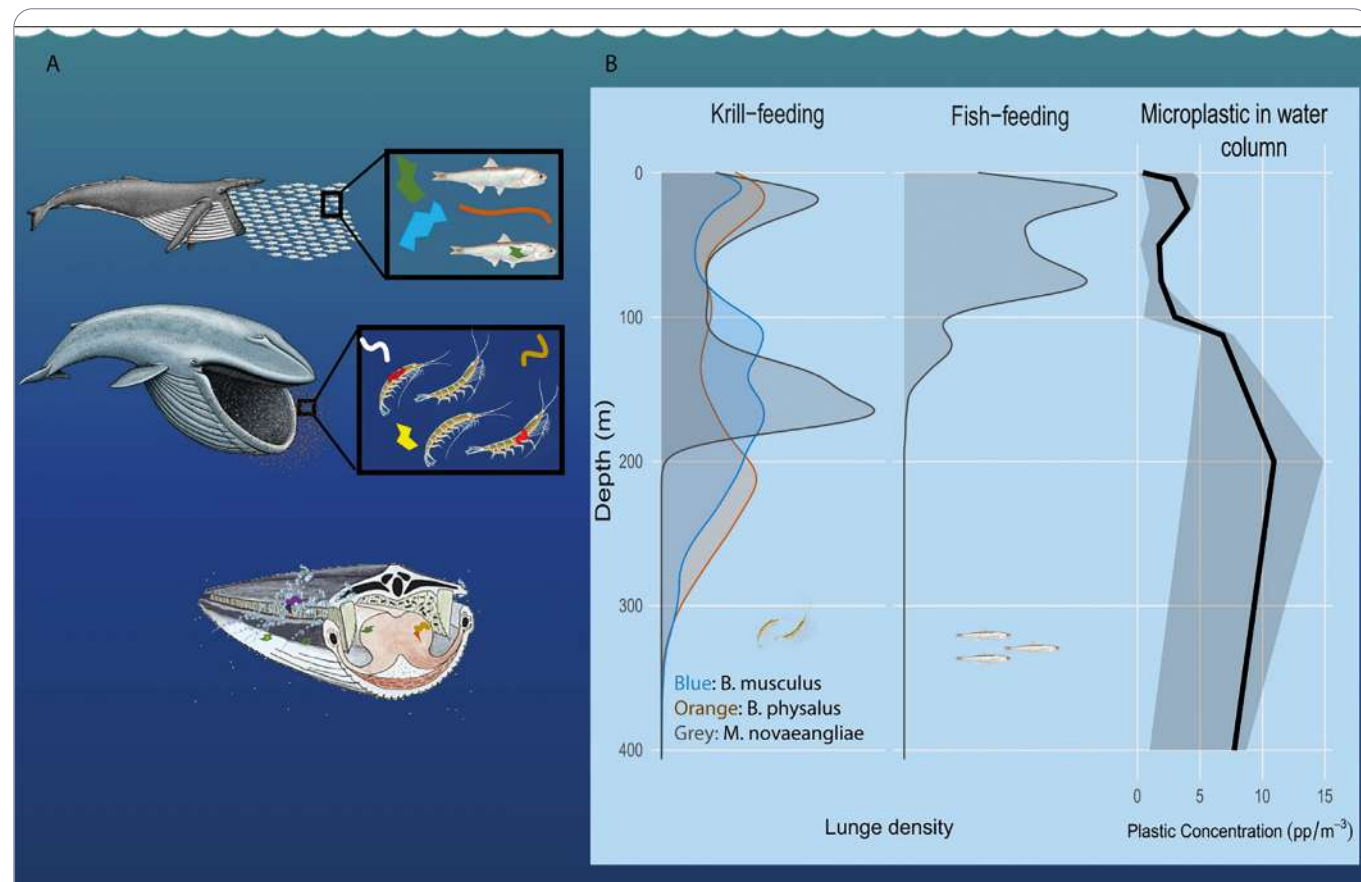
Larawan 24. Polybenzoars na natagpuan sa loob ng mga patay na kamelyo sa disyerto malapit sa Dubai. Ang pinakamalaking nasuri para sa bagong pag-aaral ay tumitimbang ng halos 6.4 kg (141 lb). Pinagmulan: Eriksen, M., Lusher, A., Nixon, M. & Wernery, U. Ang kalagayan ng mga kamelyo na kumakain ng mga 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 cam



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>



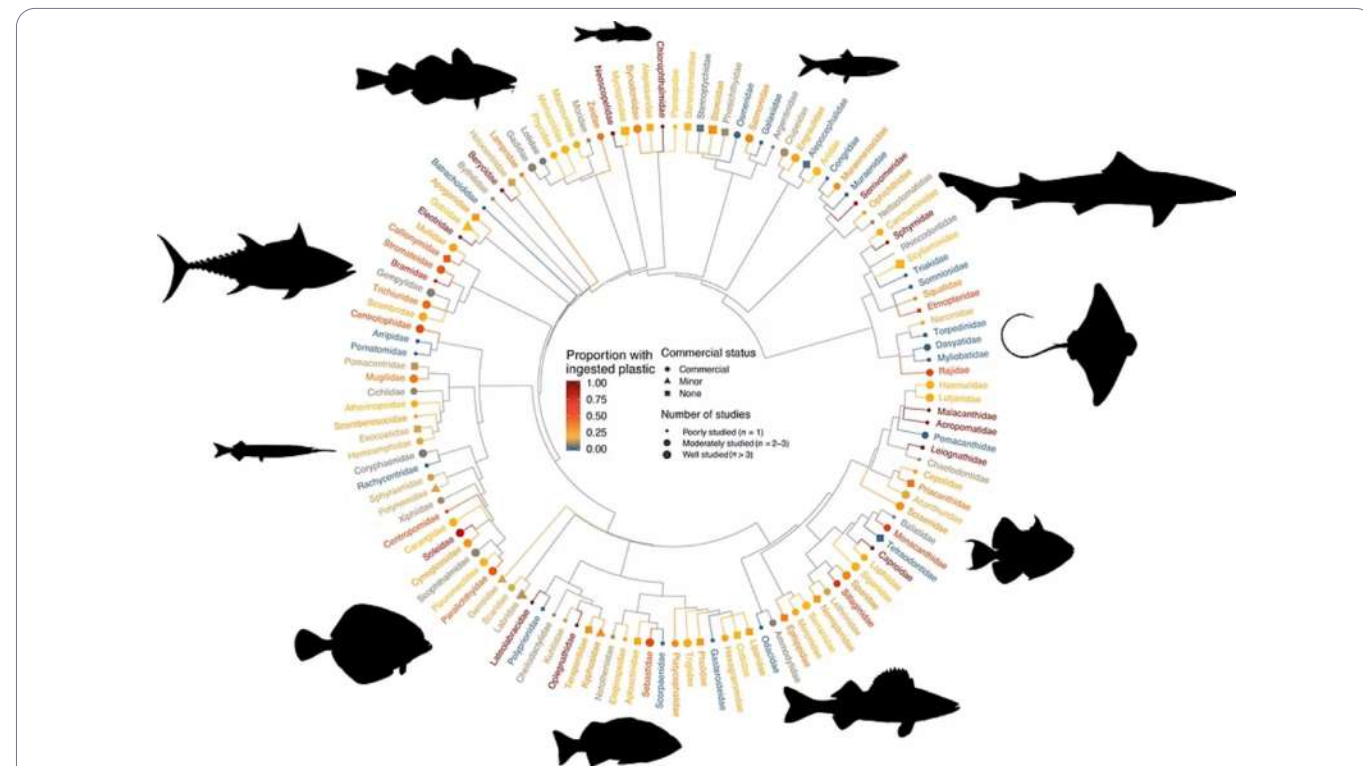
Larawan 26. Schematic na representasyon ng pagtagos ng plastik, sa food chain

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

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>

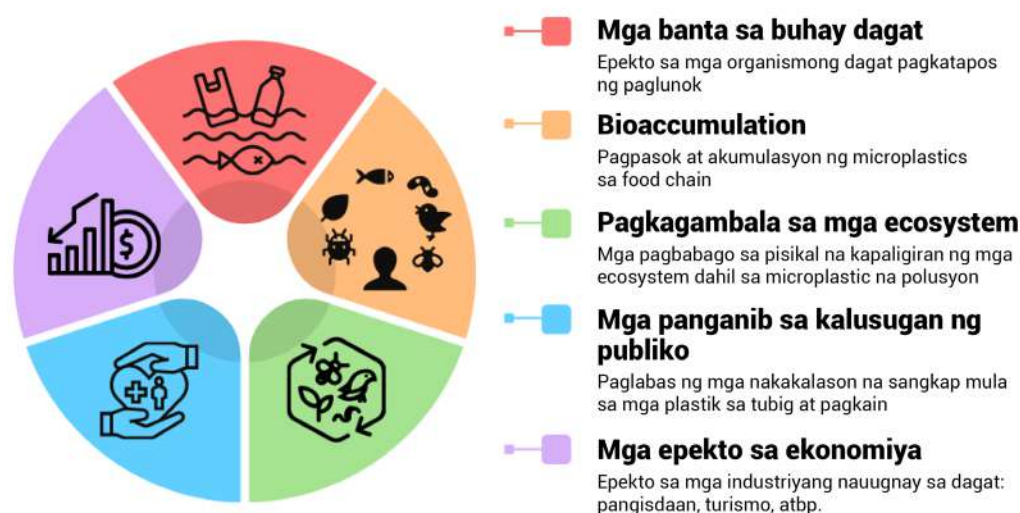
¹¹⁰Nanthini devi, K., Raju, P., Santhanam, P. & Perumal, P. Impacts of microplastics on marine organisms: Present perspectives and the way forward. *Egyptian Journal of Aquatic Research* 48, 205–209 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2022.03.001>

¹¹¹Avio, C. G., Gorbi, S

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>

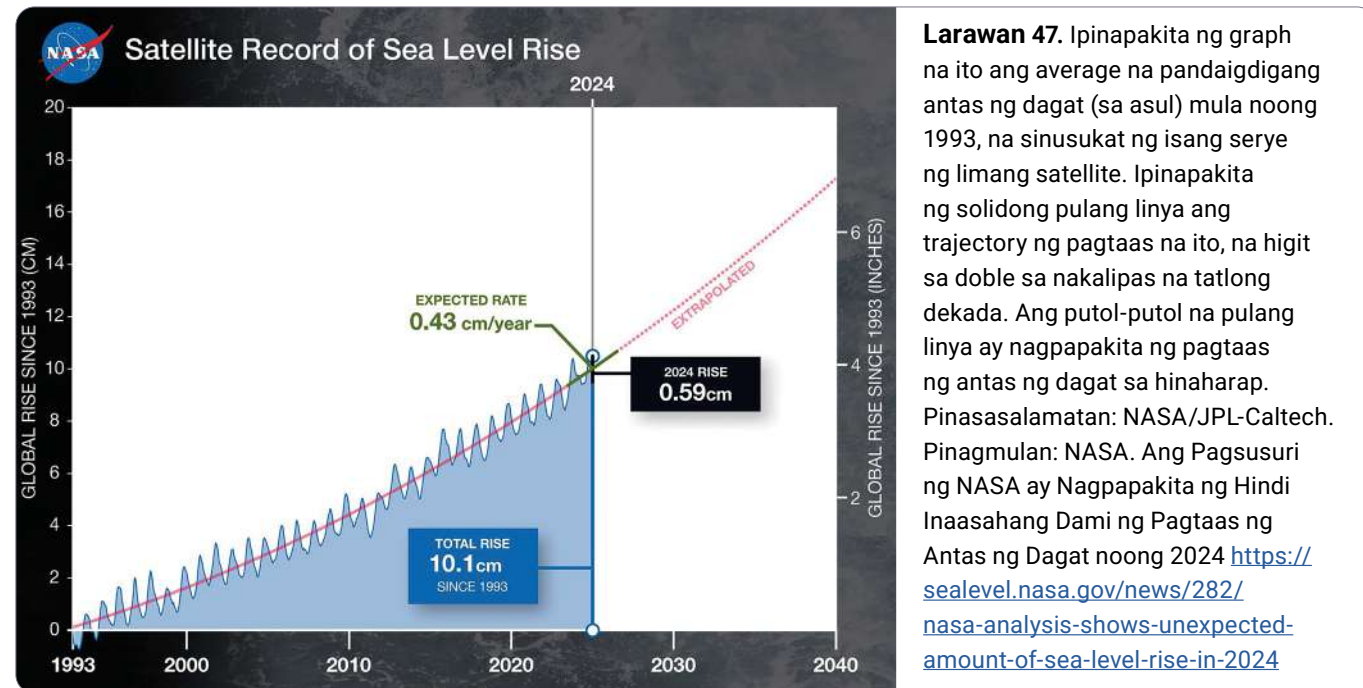
¹¹⁹Romera-Castillo, C. et al. Abiotic plastic leaching contributes to ocean acidification. Science of The Total Environment 854, 158683 (2023).

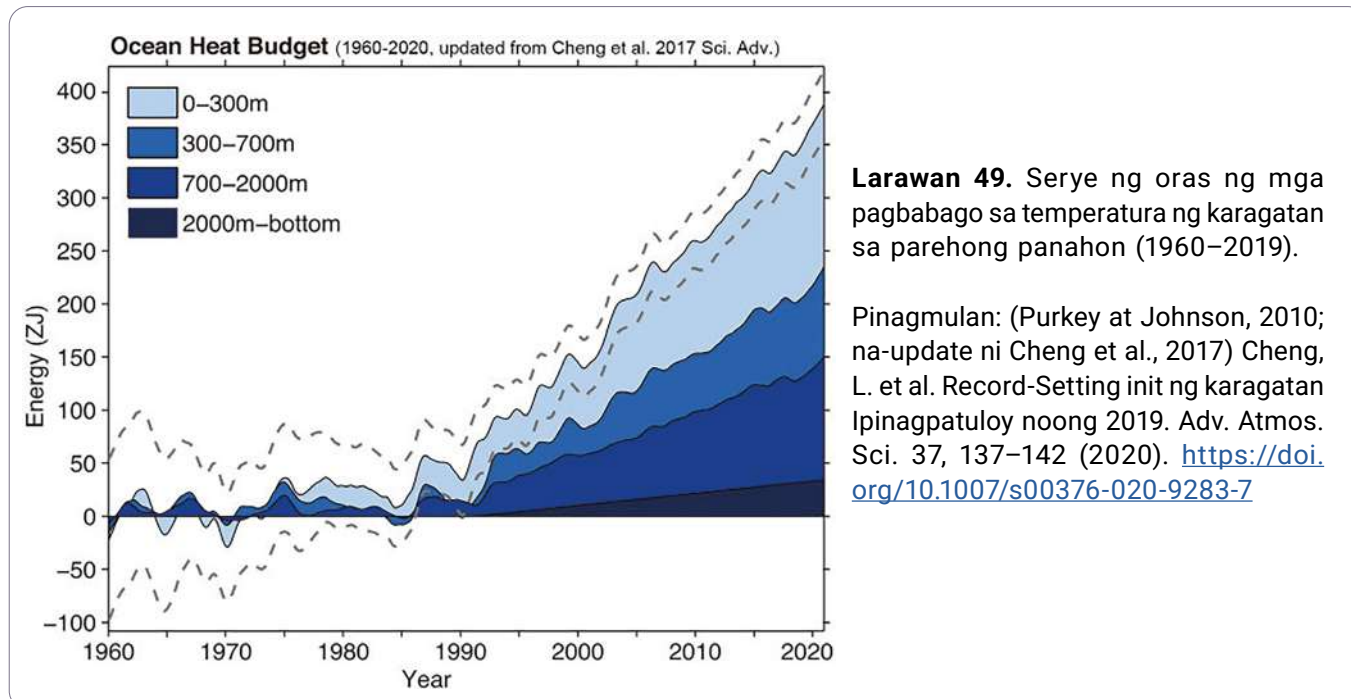
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158683>

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).

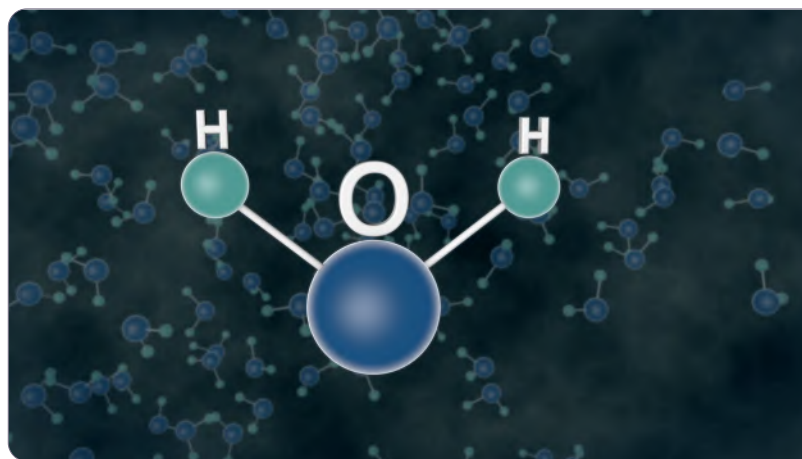




Upang higit pang tuklasin ang isyung ito, mahalagang maunawaan kung maaaring makaapekto ang plastic sa mga pisikal na katangian ng tubig sa karagatan, tulad ng thermal conductivity at kapasidad ng init. At maaari bang mag-ambag ang mga pagbabagong ito sa pagtaas ng temperatura ng karagatan? Upang mas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

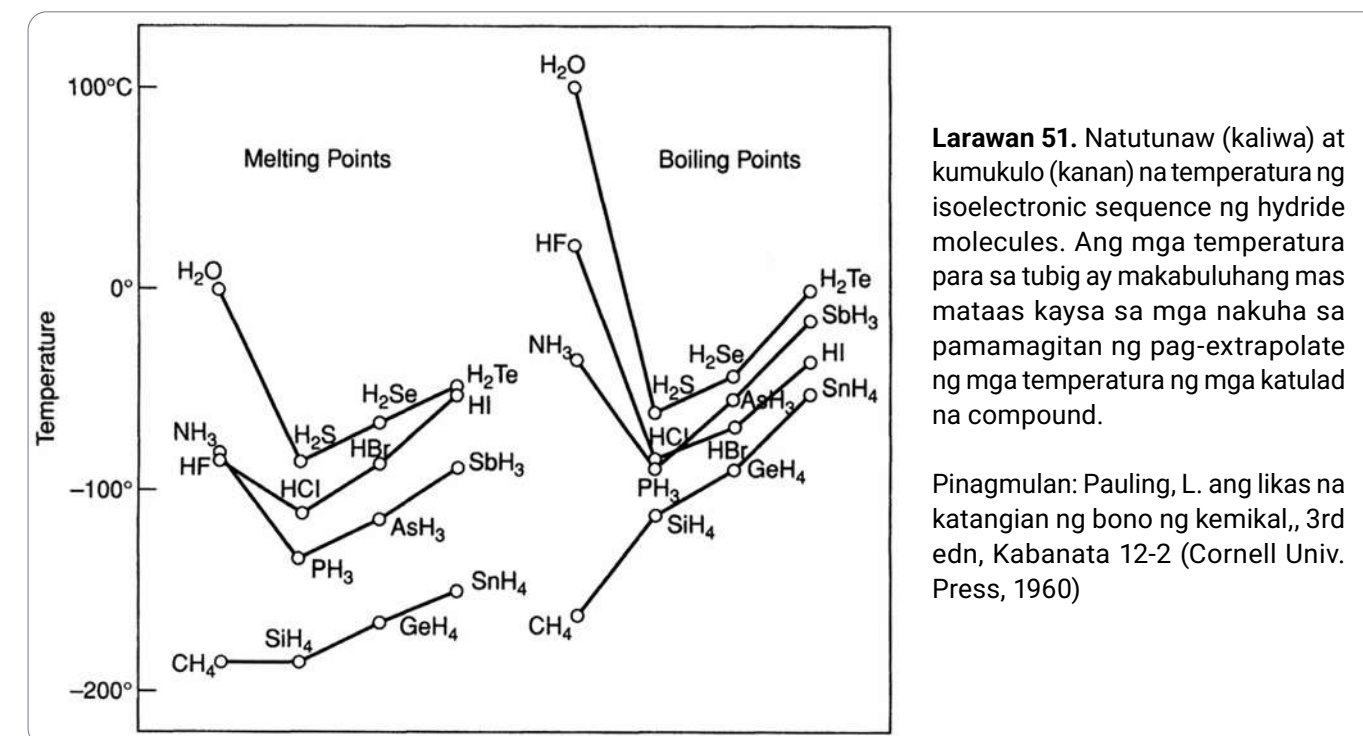
Ang molekula ng tubig ay may simetriko na hugis-V, kung saan ang dalawang atomo ng hydrogen ay matatagpuan sa isang gilid na may kaugnayan sa isang mas malaking atomo ng oxygen (Larawan 50).

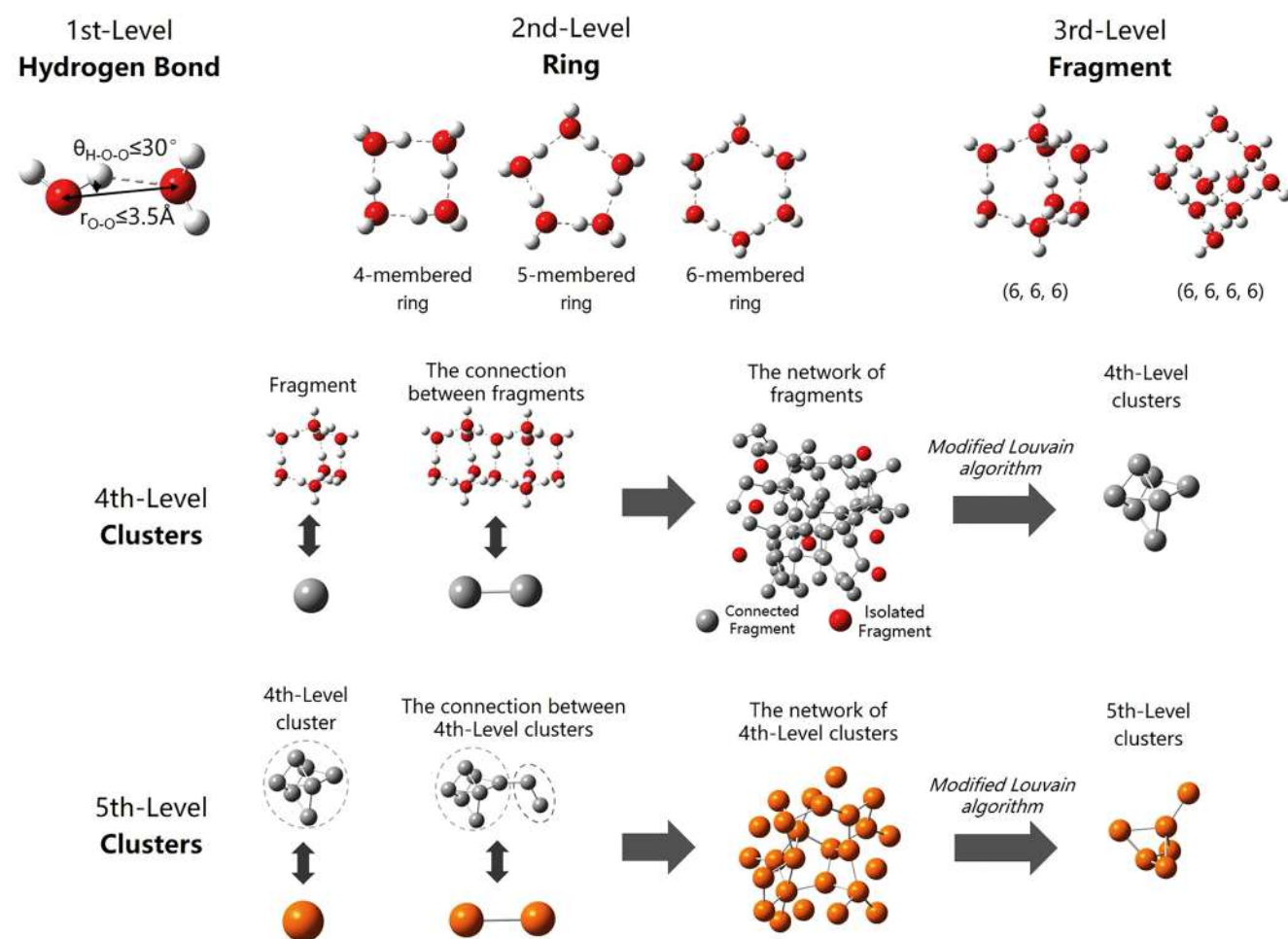


Larawan 50.

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

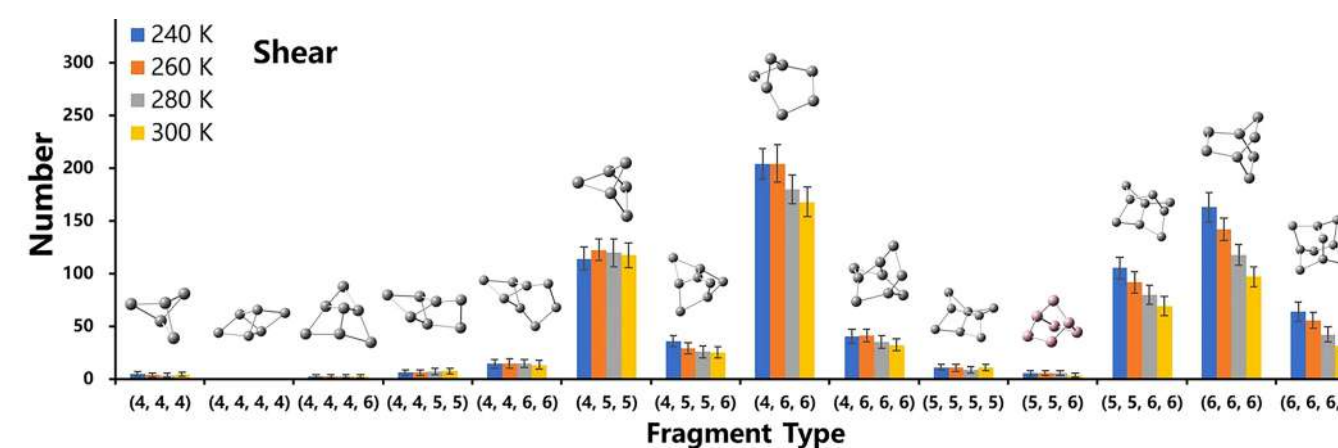
Ang istraktura na ito ay naiiba sa mga linear na molekula tulad ng CO_2 , kung saan ang lahat ng mga atom ay nakaayos sa isang kadena. Ang hugis na ito ng molekula ng tubig ay ginagawa itong espesyal at mahalaga para sa maraming proseso sa Earth. Ang mga katangian ng mga molekula ng tubig ay nagpapahintulot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





Larawan 52. Mga eskimatiko hierarchikal na pagkalimpompun na pamamaraan. 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 isinasalang-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>

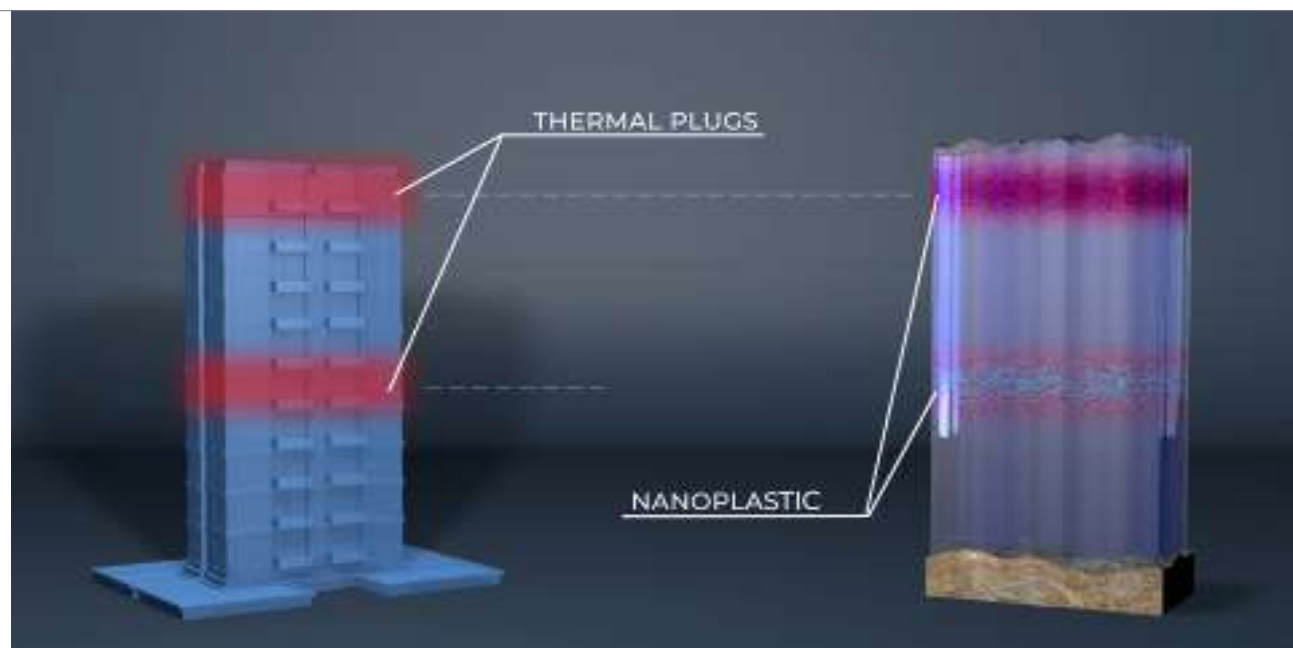


Larawan 53. Pamamahagi ng mga hierarchical na istruktura sa antas 1, 2, at 3 sa network sa iba't ibang kaso. (a) Pamamahagi ng hydrogen bonds (level 1 structures) sa iba't ibang temperatura. (b) Pamamahagi ng mga singsing (level 2 na istruktura) sa iba

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](https://doi.org/10.1134/S009780782370063X)

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).

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 altapresyon, dyabetes, 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).

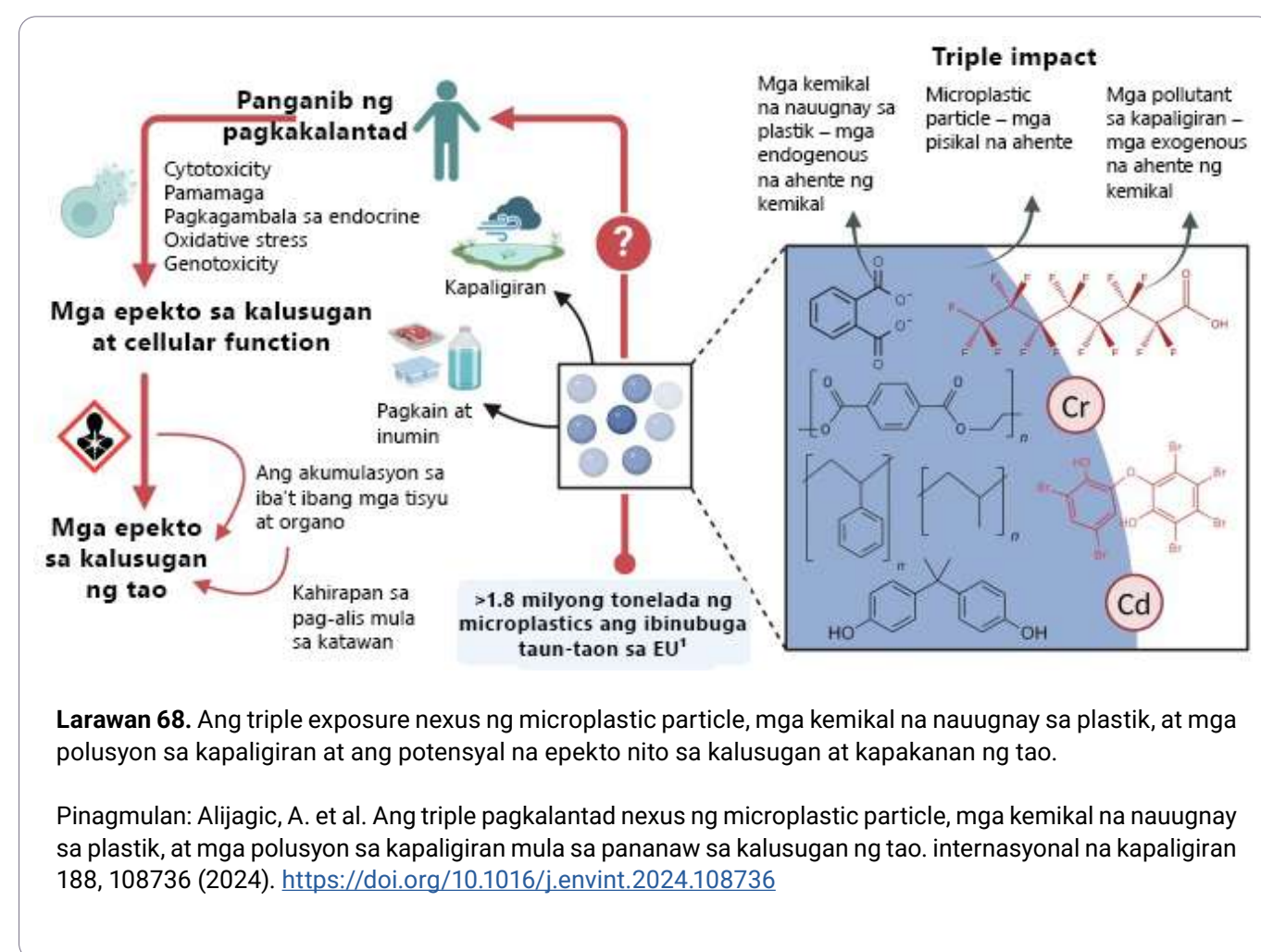
¹⁸³ Alqahtani, S., Alqahtani, S., Saqib, Q. & Mohiddin, F. Toxicological impact of microplastics and nanoplastics on humans: understanding the mechanistic aspect of the interaction. Front. Toxicol. 5, 1193386 (2023). <https://doi.org/10.3389/ftox.2023.1193386>

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>

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.

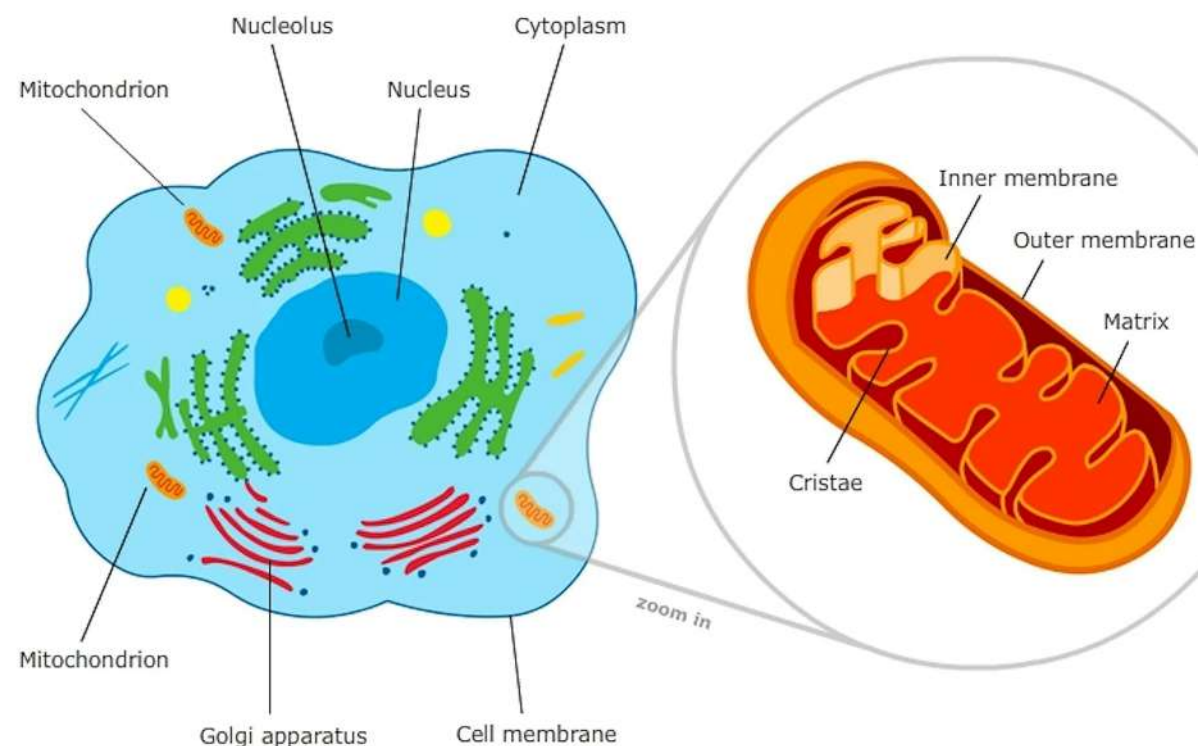


¹⁸⁵Li, Y. et al. Potential Health Impact of Microplastics: A Review of Environmental Distribution, Human Exposure, and Toxic Effects. Environ. Health 1, 249–257 (2023). <https://doi.org/10.1021/envhealth.3c00052>

¹⁸⁶Alijagic, A

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 mal

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

Pagkaubos ng stem cell pool

PAGTATANDA

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 kahirinatnan 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

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 reaktibo ng oksiheno na mga uri, 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 genetika sa Kagawaran ng Pedyatrya sa Jacobs Paaralan ng medisina at Mga agham na Biomedical 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.

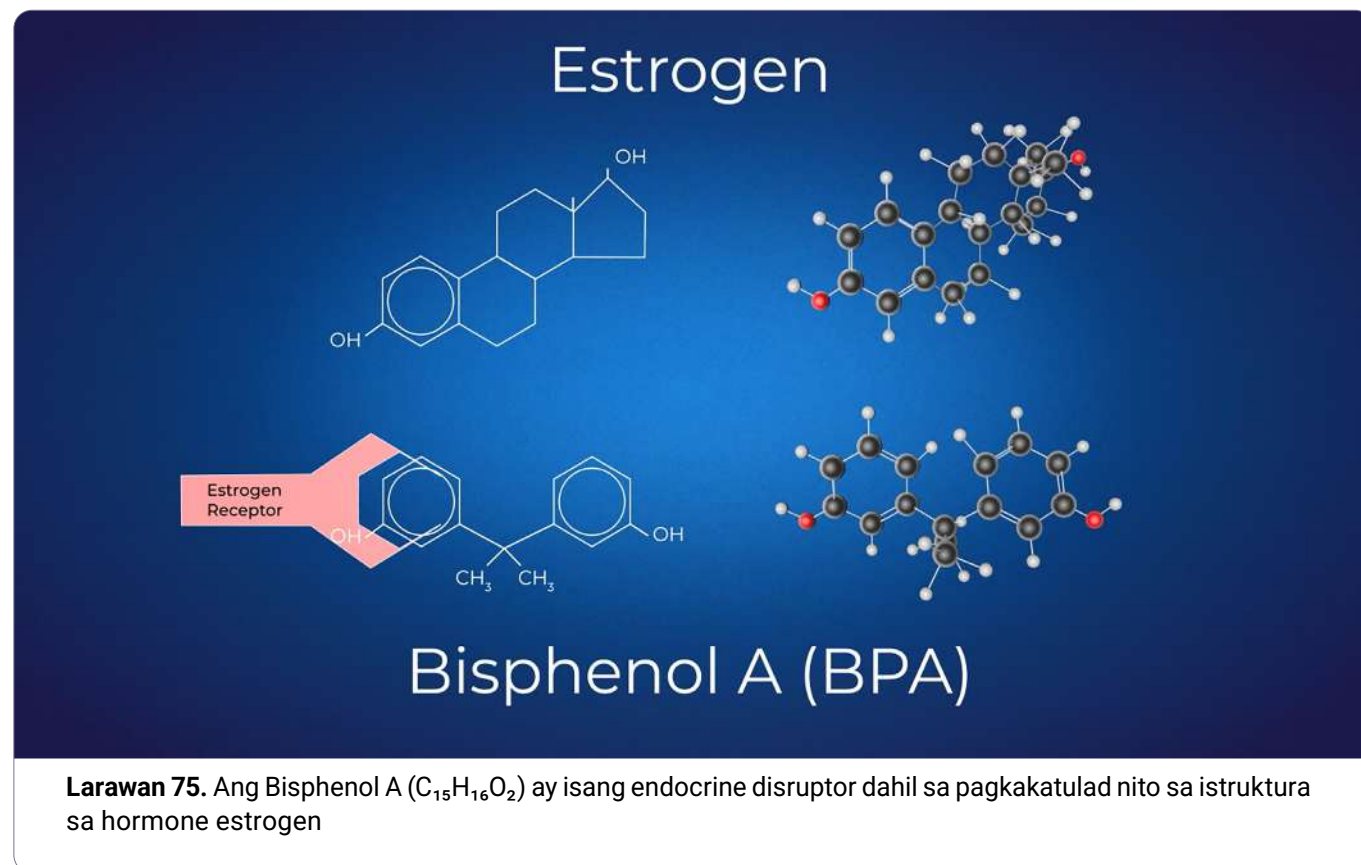
Ang mga taong may mitochondrial disorder ay kadalasang nagkakaroon ng mga sakit na nauugnay sa edad sa murang edad, tulad ng: dementia, cardiovascular disease, arrhythmia, heart failure. Natuklasan ng mga siyentipikong taga-Scotland na kapag naipanganak ang isang tao, mas mataas ang panganib na magkasakit 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>

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.



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

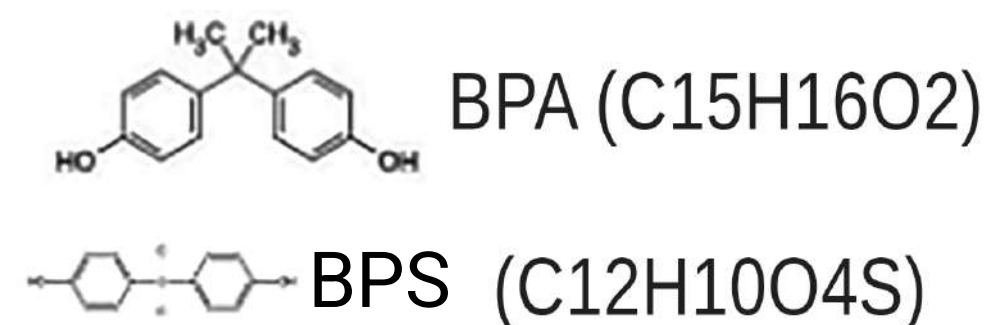
Ipinakita ng mga pag-aaral na ang BPA at ang kapalit nito, bisphenol S (BPS), ay nakakagambala sa koordinasyon ng excitatory at nagbabawal na signal sa sistema ng nerbiyos¹⁹⁹. Ang parehong mga compound ay nagdudulot ng magkatulad na mga pathological effect sa mataas na konsentrasyon (Larawan 76). Ipinakita 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).

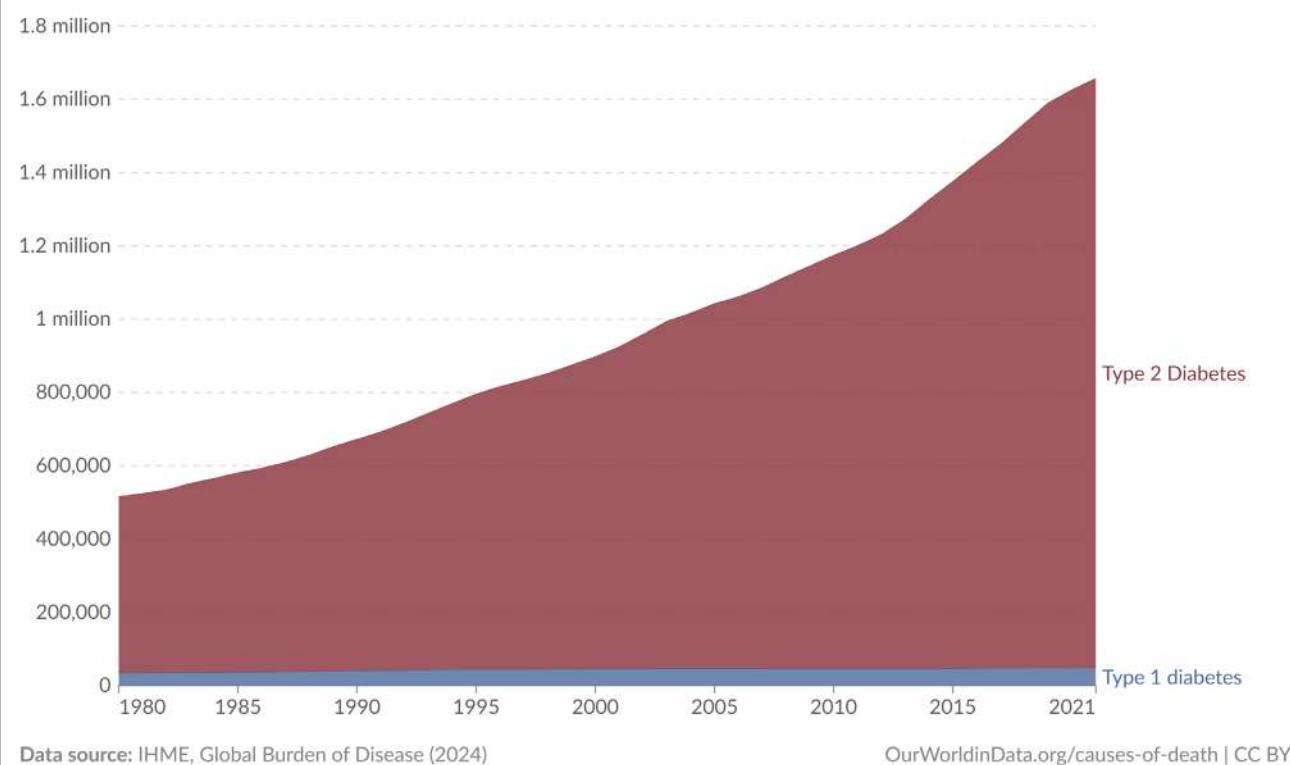
¹⁹⁹Glausiusz, J. Toxicology: The plastics puzzle. Nature 508, 306–308 (2014). <https://doi.org/10.1038/508306a>

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).



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>

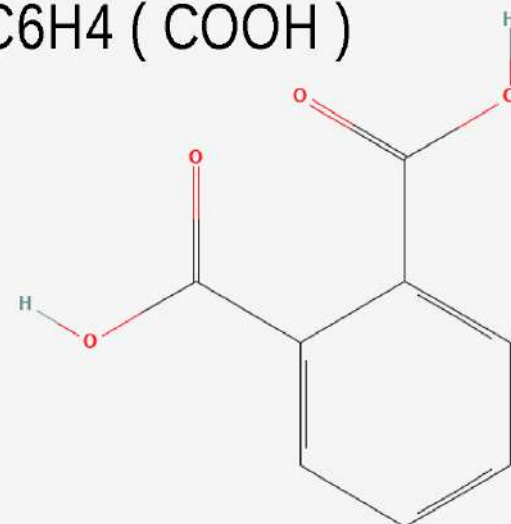
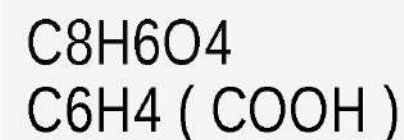
Phthalates

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>



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 Nanoplast

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

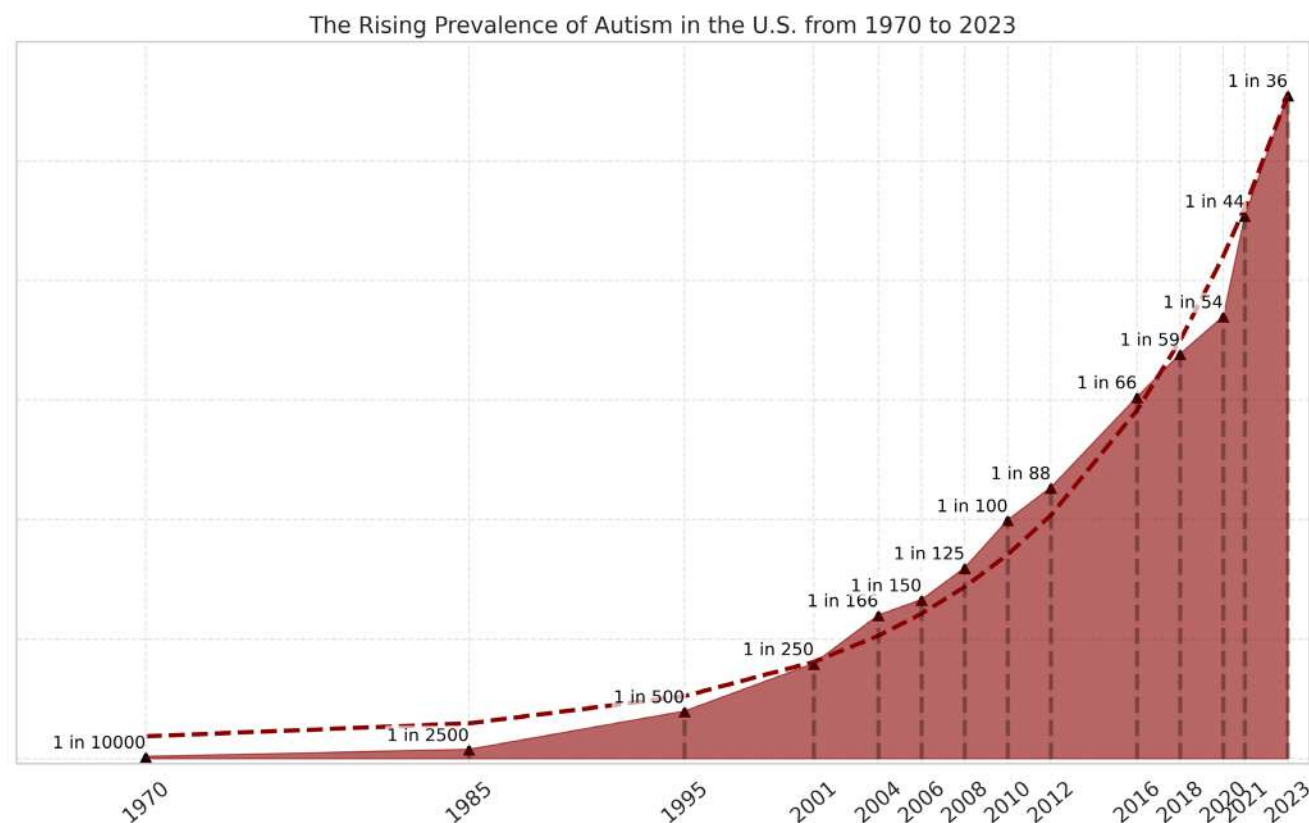
Ang mga plastik na nanoparticle ay maaaring magdulot ng pinsala sa mitochondrial DNA, na nakakagambala sa normal na paggana ng mitochondria. Nakakaapekto ito sa mga pangunahing proseso ng cellular - produksyon ng enerhiya, kontrol sa stress ng oxidative, na-program na pagkamatay ng selula at metabolismo.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

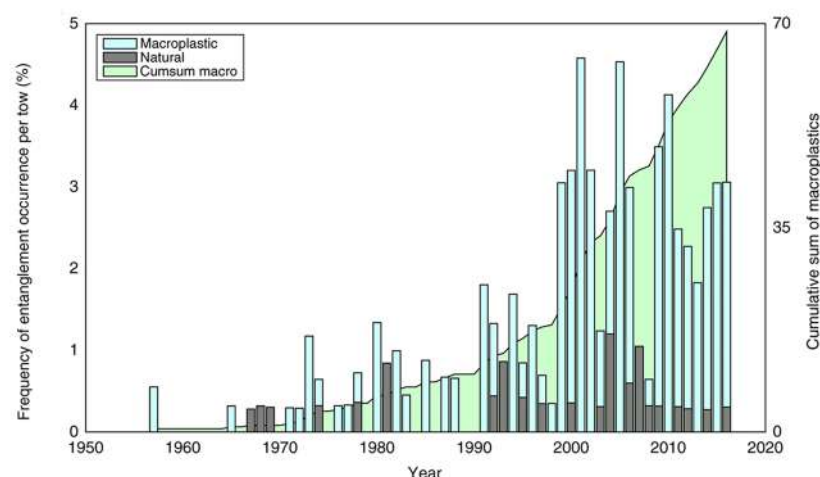
Ang electrostatic charge sa mga plastic na particle ay maaaring makagambala sa paggana ng mga neuron, na humaharang o nakakagambala sa paghahatid ng mga Mga impulses ng nerbiyos. Ito ay humahantong sa mga pagkagambala sa paggana ng sistema ng nerbiyos at maaaring maging sanhi ng malawak na hanay ng mga 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



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>

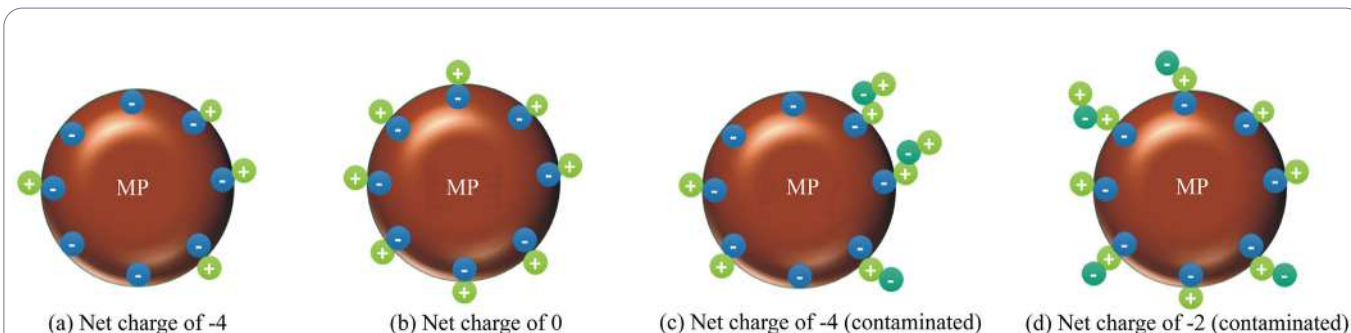
Ayon sa Pagsubaybay sa Autism at mga Kapansanan sa Pag-unlad Network ng CDC, 1 sa 36 na bata sa United States ang na-diagnose na may ASD noong 2020, na nagpapakita ng 317 % na pagtaas ng mga kaso mula noong 2000^{250, 251}.

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

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).

