



VALTAMERIEN TARKKAILUA ARGO-ROBOTEILLA

Blair J. Greenan^{1*}, Annie P. Wong², Tammy Morris³, Emily A. Smith⁴ and Marine Bollard⁵

¹Bedford Institute of Oceanography, Fisheries and Oceans Canada, Halifax, NS, Canada

²School of Oceanography, University of Washington, Seattle, WA, United States

³South African Weather Service, Cape Town, South Africa

⁴National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Washington, DC, United States

⁵Euro-Argo European Research Infrastructure Consortium (ERIC), Brest, France

Oletko koskaan miettinyt, kuinka tutkijat tietävät, mitä valtamerien syvyyksissä tapahtuu? On olemassa monenlaisia robotteja, jotka voivat sukeltaa syvyyksiin tuottaen meille tietoa meristä. Argo-pojut ovat näistä yksi. Ne kulkevat virtauksien mukana valtamerien keskisyvyyksissä, nousten pintaan joka kymmenes päivä lähettäen keräämänsä tiedot tutkijoille. Tällä hetkellä noin 4 000 Argo-pojua tarkkailee valtamerien olosuhteita päivittäin. Nämä robotit mittaavat meren lämpötilaa ja suolaisuutta, osa niistä myös kemiallisia ja biologisia muuttujia. Argo-pojut tarjoavat yhden menetelmän lisää merentutkijoiden käyttöön, auttaen tutkijoita ymmärtämään paremmin valtamerien prosesseja ja sitä miten ne vaikuttavat merten elämän lisäksi koko Maahan.

MIKSI TUTKIA MERIÄ?

Meret ovat elintärkeitä ihmisten hyvinvoinnille. Ne tarjoavat ruokaa ja lääkkeitä, väylän liikkua sekä mahdollisuuden virkistäytyä. Meri tarjoaa kodin myös monille eläimille mahdollistaen hapen tuotannon ja tehden maapallosta asuttavan myös ihmisille. Esimerkiksi merten **plankton** tuottaa yli 50% hengittämästämme hapesta. Valtameret kattavat yli 70% Maapallon pinta-alasta vaikuttaen merkittävästi koko planeettamme ympäristöön. Näistä syistä tutkijat ovat jo pitkään tienneet, että merten tutkiminen edesauttaa meitä ymmärtämään meriä ja planeetallamme tapahtuvia muutoksia.

PLANKTON

Kelluvat kasvit, levät ja jotkin yhteyttämään kykenevät bakteerit.

ILMASTO

Kuvaus tietyn alueen pitkän aikavälin sääoloista. Tämä arvioidaan tyypillisesti vähintään kahden vuosikymmenen aikana kerättyjen tietojen, (kuten lämpötilan), keskiarvona.

KASVIHUONEKAASUT

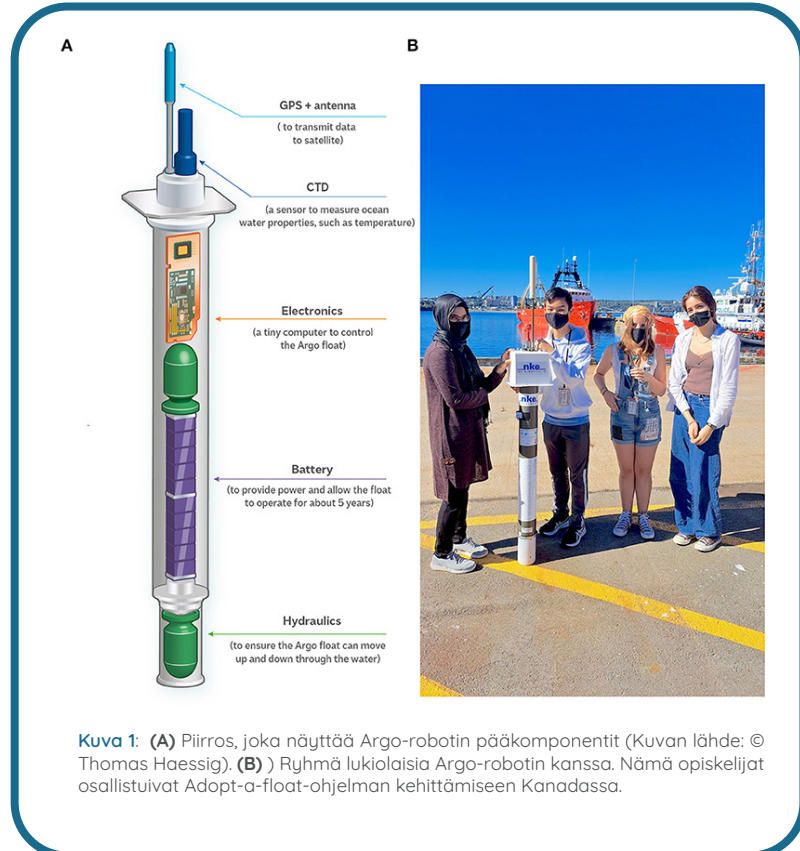
Kaasut, jotka vangitsevat lämpöä ilmakehässä, kuten hiilidioksidi, metaani, dityppioksidi ja fluoratut kaasut.

Myös ilmakehätutkijat ovat kiinnostuneet merihavainnoista, sillä meret vaikuttavat suuresti sääilmiöihin. Esimerkiksi, oletko koskaan nähnyt veden haihtuvan kuumalta tieltä? Samaa tapahtuu valtameressä, kun vettä haihtuu lämpimästä meren pinnasta, siirtäen vettä merestä ilmakehään. Ilmakehässä vesi muodostaa pilviä, jotka vuorostaan saavat aikaan lunta ja sadetta. Näin merten olosuhteiden havainnointi ja parempi ymmärtäminen tuottaa myös tarkempia sääennusteita.

On tutkijoita jotka ovat erikoistuneet Maapallon ilmastotutkimiseen. Alueilla, joilla saadaan runsaasti auringonvaloa lämmin merenpinta haihduttaa paljon vettä muodostaen pilviä ja sadetta. Siksi alueiden ilmasto on tyypillisesti kuuma ja kostea. **Ilmasto** voi kuitenkin muuttua ajan myötä. Esimerkiksi jotkin ihmisen toimet, kuten liikenne tai asuntojen lämmittäminen, voivat lisätä kasvihuonekaasupäästöjä ilmakehään. **Kasvihuonekaasut** toimivat kuin peitto, joka lämpöä vangitsemalla lämmittää Maan pintaa. Meret pystyvät absorboimaan hiilidioksidia ja lämpöä Maan ilmakehästä ja kuljettamaan niitä merivirtojen mukana. Tämän vuoksi on tärkeää saada lisää havaintotietoa meristä.

ARGO-ROBOTIT, VAPAASTI KULKEVAT MERTEN SEIKKAILIJAT!

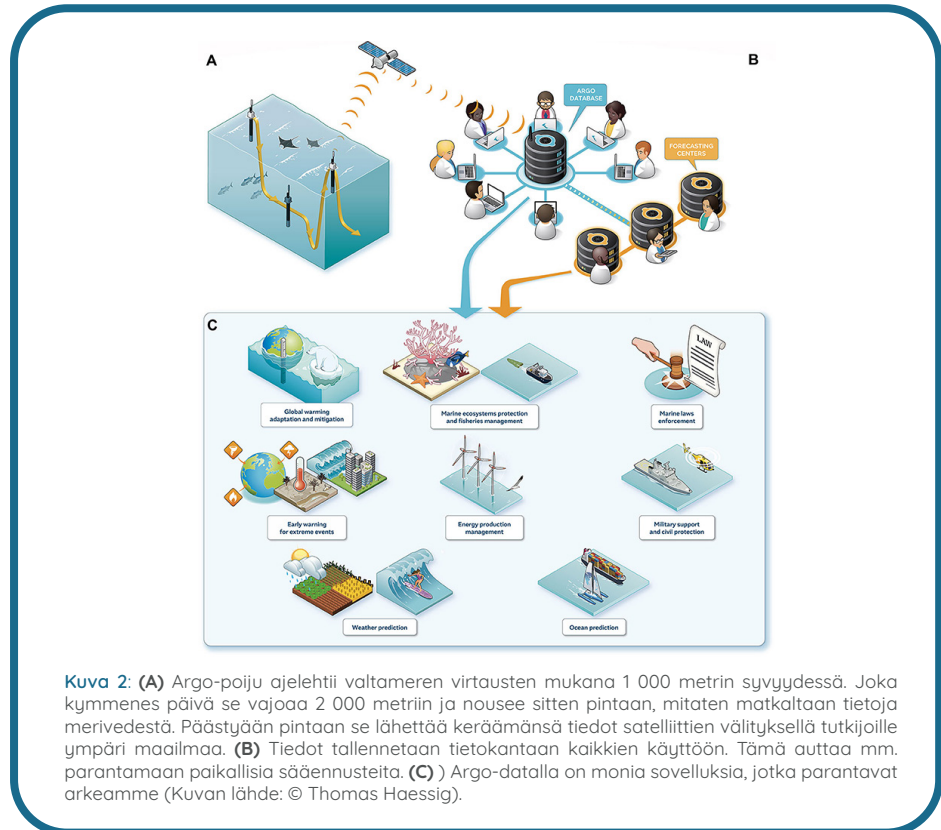
Merten tutkiminen ja ymmärtäminen edellyttää monien vuosien mittauksia. Mittauksia on perinteisesti tehty tutkimusaluksilta. (katso myös tämä *Frontiers for Young Minds* -artikkeli). On kuitenkin paikkoja, joihin tutkimusalusten on vaikea päästä, kuten kylmät napa-alueet ja ajanjaksoja, kuten talvet, jolloin mittaustoimintaa vaikeuttavat myrskyt. Tutkijat kehittivät Argo-robotit, jotta meriltä saataisiin mittauksia kaikkina vuodenaikoina (Kuva 1).



ANTURIT

Laitteita, jotka havaitsevat ja reagoivat fyysisen ympäristön syötteisiin.

Nämä Argo-robotit, joita kutsutaan poijuiksi, sisältävät **antureita** meren mittaamiseen. Vaikka kutsumme näitä robotteja poijuiksi, ne eivät vain kellu pinnalla, vaan myös liikkuvat ylös ja alas meressä. Tutkijat laskevat Argo-poijut mereen laivoista. Veteen päästyään ne uppoavat kilometrin syvyyteen ja ajelehtivat vapaasti valtameren virtausten mukana yhdeksän päivän ajan. Kymmenentenä päivänä ne sukeltavat kahden kilometrin syvyyteen ja nousevat sieltä pintaan, mitaten matkallaan ylös. Pinnan saavutettuaan, ne lähettävät keräämänsä tiedot ja sijaintinsa takaisin tutkijoille satelliittien kautta, mahdollistaen näin tutkijoille tietopankin kokoamisen tästä osasta valtamerästä. Sitten ne sukeltavat takaisin kilometrin syvyyteen ja aloittavat rutiininsa alusta (Kuva 2A). Tutkijat tarkistavat mittauksen laadun ja siirtävät tiedot tietokantaan (Kuva 2B). Mittaukset ovat vapaasti kaikkien saatavilla 24 tunnin kuluessa poijujen lähetettyä mittaukset (Kuva 2C).

**SUOLAPITOISUUS**

Suolan suhteellinen määrä merivedessä. Tätä voidaan kutsua myös suolaisuudeksi.

TIHEYS

Aineen massan ja tilavuuden suhde.

Argo-robotit mittaavat painetta, lämpötilaa ja suolapitoisuutta. **Suolapitoisuus** kertoo, kuinka paljon suolaa merivedessä on. Lämpötila ja suolapitoisuus määrittelevät yhdessä meriveden **tiheyden**. Paineen avulla tutkijat saavat selville miltä syvyydeltä lämpötilan ja suolapitoisuuden mittaukset on tehty. Meressä metrin syvyysero vastaa noin yhden kymmenesosa ilmakehän, eli desibaarin paine-eroa. Ilmakehässä korkea- ja matalapaineet muodostavat sääilmioimme. Meressä taas korkeiden ja matalien tiheysalueiden erot luovat virtauksia, jotka kuljettavat suuria vesimassoja ympäri maapalloa. On tärkeää ymmärtää, miten vesimassat kulkeutuvat valtamerissä, niin ilmastotutkimuksen kuin merten asukkaiden, kasvien ja eläimien, suojelun osalta.

Kun tutkijat ensimmäistä kertaa suunnittelivat Argo-robottien verkostoa 1990-luvun loppupuolella, tavoitteena oli, että näiden robottien keräämät tiedot täydentäisivät merenpinnan korkeuden mittauksia, jotka saatiin Jason-satelliitista. Kreikkalaisessa mytologiassa Jason (suomeksi Iason) seilasi Argo-laivalla etsien kultaista taljaa. Tästä juontuu näiden merirobottien nimi, Argo-poiju. Satelliittien keräämää merenpinnan korkeustietoa ja Argo-poijujen dataa yhdistämällä tutkijat saavat arvokasta tietoa valtameren virtausten muutoksista. Viimeisen 20 vuoden aikana Argo-poijuja on käytetty laajalti maailman merialueilla ja ne ovat suorittaneet yli kaksi miljoonaa mittaus¹. Tälläkin hetkellä lähes 4 000 Argo-poijua kerää tietoa meristä.

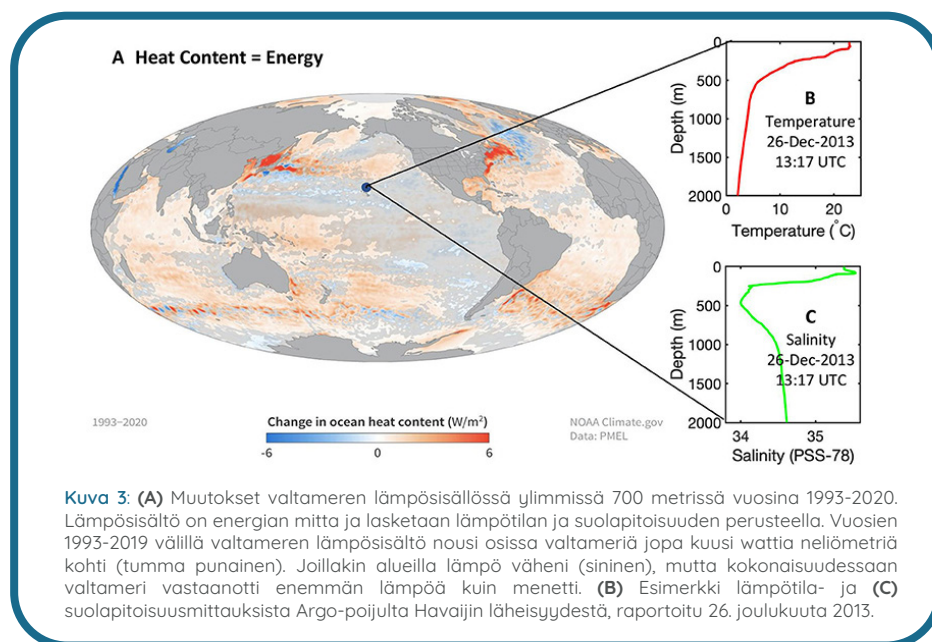
Argo-pojjut saavat virtansa paristoista ja toimivat tauotta vuoden jokaisena päivänä. Näiden robottien ansiosta tutkijat voivat tarkkailla meriä ennen näkemättömällä tavalla. Argo-pojjujen paristot kestävät tyypillisesti yli viisi vuotta. Kun paristot loppuvat, lakkaavat robotit toimimasta ja vajoavat merenpohjaan. Vaikka tämä saattaa kuulostaa merten roskaamiselta, robottien aiheuttama ympäristövaikutus merelle on hyvin vähäinen muihin saasteisiin verrattuna, ja niiden merestä keräämä tieto on äärimmäisen arvokasta Maan toiminnan ymmärtämiseksi.

MITÄ ARGO ROBOTIT VOIVAT KERTOA MEILLE MERISTÄ?

Vuodesta 1970 alkaen valtameret ovat sitoneet itseensä yli 90% ihmistoiminnasta peräisin olevien kasvihuonekaasujen aiheuttamasta lämmöstä. Tämä on nostanut useiden merialueiden lämpötiloja. Tutkijat seuraavat tätä ilmiötä muun muassa mittaamalla lämpötilaa ja suolapitoisuutta, joiden perusteella arvioidaan lämmön määrää, eli **merten lämpösisälyä** eri syvyyksillä (Kuva 3). Argo-robottien keräämistä tiedoista on havaittu, että äärimmäiset sääilmiöt, kuten merelliset lämpöaallot, yleistyvät. Nämä lämpöaallot pakottavat liikkumaan pystyvät merieläimet etsimään viileämpiä vesiä, kun taas paikallaan pysyvät kasvit ja eläimet joko sopeutuvat tai kuolevat.

MEREN LÄMPÖSISÄLTÖ

Energia, joka on varastoitunut lämpönä valtameren.



Toinen merkittävä ilmastomuutoksen seuraus on globaali merenpinnan nousu. Vesi laajenee lämmitessään, mikä nostaa merenpintaa. Tämä voi johtaa tulviin, eroosioon ja suolaisen veden sekoittumiseen makean veden varastoihin, vaikuttaen ihmisten arkeen (*lisätietoa merenpinnan noususta löytyy tästä Frontiers for Young Minds -artikkelista*). Argo-pojjut ovat keskeisessä roolissa merenpinnan nousun seurannassa, sillä ne auttavat tutkijoita ymmärtämään valtameren muutoksia.

Valtameren monitorointi myös parantaa sääennustuksia. Argo-pojjujen mittaaman lämpötila- ja suolapitoisuustiedon avulla on voitu parantaa merellisiä **tietokonemalleja**, merimalleja. Tosi aikaisen havaintodatan käyttö sää- ja merimalleissa syventää ymmärrystämme ilmakehän ja valtameren vuorovaikutuksesta. Hurrikaanit, syklonit ja taifuunit saavat suuren osan voimastaan merien lämpimistä pintakerroksista, minkä vuoksi havaintotieto lämpötilasta parantaa niiden ennustettavuutta.

TIETOKONEMALLI

Ohjelma, joka simuloi todellista järjestelmää, kuten maan ilmakehää tai valtameriä, tietokoneella.

SYVEMMÄLLE JA KOHTI UUSIA SUUNTIA

Alun perin Argo-robotit pystyivät tutkimaan vain valtameren ylempiä kerroksia pinnasta noin 2 000 metrin syvyyteen asti. Tämä on vain alle puolet maailman valtamerien kokonaistilavuudesta. On vaikeaa suunnitella robotteja, jotka pystyvät saavuttamaan valtameren syvimmätkin kolkat, mutta viime aikoina tutkijat ja insinöörit ovat onnistuneet kehittämään robotteja, jotka sukeltavat jopa 6 000 metrin syvyyteen². Valtamerten tutkiminen pinnasta pohjaan antaa tutkijoille paremmat keinot ymmärtää muutoksia niin merien lämpövarastoissa kuin suolaisemman ja makeamman veden jakautumisissakin. Tämä puolestaan auttaa arvioimaan paremmin merenpinnan korkeuden muutoksia tulevaisuudessa.

Olemme uuden aikakauden alussa, jossa Argo-robotit voivat mitata muutoksia valtameren kemiallisissa ja biologisissa muuttujissa³. Tämä tuo lisätietoa esimerkiksi valtameren happi- ja hiilidioksidipitoisuuksien muutoksista. Meret ovat vähitellen menettämässä happea ja sitomassa yhä enemmän hiilidioksidia ilmakehästä. Tämä vaikuttaa meriekosysteemeihin, ja sitä kautta mm. kalastukseen josta myös monen ihmisen ruoan saanti on kiinni.

Argo-robotit ovat osa merentutkijoiden työkalupakkia ja Global Ocean Observing System (GOOS) -nimistä maailmanlaajuisten merimittausten järjestelmää. Argo-robottien kehitys yhdessä GOOS:n muun työn kanssa auttaa luomaan kokonaiskuvan valtameren terveydestä ja muutoksista. Sinäkin voit osallistua meren tarkkailuun adoptoimalla oman Argo-pojun. Voit valita pojun, nimetä sen ja seurata sen matkaa ympäri maailmaa. Lisätietoja Argoista saat Argo Online Schoolin ja Ocean Observersin kautta. Valtameriseikkailu kutsuu!

VIITAUKSET

1. Wong, A. P. S., Wijffels, S. E., Riser, S. C., Pouliquen, S., Hosoda, S., Roemmich, D. et al. 2020. Argo data 1999–2019: two million temperature-salinity profiles and subsurface velocity observations from a global array of profiling floats. *Front. Mar. Sci.* 7:700. doi: 10.3389/fmars.2020.00700
2. Roemmich, D., Alford, M. H., Claustre, H., Johnson, K., King, B., Moum, J. et al. 2019. On the future of argo: a global, full-depth, multi-disciplinary array. *Front. Mar. Sci.* 6:439. doi: 10.3389/fmars.2019.00439
3. Bittig, H. C., Maurer, T. L., Plant, J. N., Schmechtig, C., Wong, A. P. S., Claustre, H., et al. 2019: A BGC-argo guide: planning, deployment, data handling and usage. *Front. Mar. Sci.* 6:502. doi: 10.3389/fmars.2019.00502

LÄHETETTY: 13.5.2022

HYVÄKSYTTY: 21.9.2023

JULKAISTU SÄHKÖISESTI: 6.10.2023

TOIMITTAJA: Pedro Morais, Florida International University, United States

TIETEELLISET MENTORIT: Laura Lorenzoni and Sagi Dalyot

ETURISTIRIIDAT: Kirjoittajat ilmoittavat, että tutkimus tehtiin ilman mitään kaupallisia tai taloudellisia sidonnaisuuksia, jotka voitaisiin tulkita mahdolliseksi eturistiriidaksi.

NUORET ARVIOIJAT

DENIZE, 12

Hei, nimeni on Deniz ja pidän tähtien katselemisesta sekä videopelien pelaamisesta ystäväni kanssa. Lempitähtijoukkoni on Messier 45 ja lempitähdistöni on Orionin vyö. Lempivideopelini on Call of Duty.

LEO, 12

Leo syntyi Floridassa ja pitää merenrannasta; erityisesti hän nauttii snorklauksesta. Hän pitää historiasta ja mytologiasta, erityisesti jos ne liittyvät veteen. Hän soittaa selloa ja hänellä on kaksi koiraa. Vapaa-ajallaan hän nauttii videopelien pelaamisesta.





OMER, 14

Olen kiinnostunut kansainvälisestä politiikasta ja tykkään lukea politiikasta, filosofiasta ja historiasta. Tykkään pelata videopelejä Nintendo Switchillä ja tietokoneella, ja rakastan musiikin kuuntelua ja roolipelejä kuten D&D ja Warhammer 40K.

TEKIJÄT



BLAIR J. GREENAN

Blair Greenan on tutkija Bedford Institute of Oceanographyssä Halifaxissa, Nova Scotiassa, Kanadassa. Hän johtaa Kanadan kansainvälistä Argo-ohjelmaa. Hänen tutkimuksensa keskittyy rannikkoyhteisöjen auttamiseen sopeutumisessa valtamerien ilmastomuutokseen. Tämä sisältää tieteeseen perustuvien työkalujen, kuten tiedon ilmastomuutoksen aiheuttamista paikallisista merenpinnan muutoksista, tarjoamista infrastruktuuri kysymyksiin



ANNIE P. WONG

Annie on tutkija Washingtonin yliopistossa Seattlessa, WA, Yhdysvalloissa. Hän aloitti merentutkimuksen keräämällä meridataa laivoilta. Nyt hän käyttää Argo-dattaa tutkiakseen valtamerien suolaisuutta ja on kiinnostunut Etelämanteretta ympäröivistä valtameristä. Hän kuuluu Argo DataManagement -tiimiin, joka auttaa Argo-datan jakamisessa yleisölle.



TAMMY MORRIS

Tammy Morris on vanhempi tutkija Etelä-Afrikan ilmatieteen laitoksen meriyksikössä Kapkaupungissa, Etelä-Afrikassa. Hän tekee havaintoihin perustuvaa merentutkimusta, ja on viettänyt kuukausia merellä tutkimusaluksilla työskennellen merentutkimusinstrumenttien, kuten Argo-pojujen, ajelehtijoiden ja kiinteiden mittauslaitteiden kanssa. Hänen tutkimuksensa on keskittynyt pääasiassa Agulhasin merivirtaan ja viimeisimpänä Eteläisen valtameren vuorovaikutuksiin.



EMILY A. SMITH

Emily on useiden ohjelmien vetäjä, mukaan lukien Yhdysvaltain Argo-ohjelma ja Global Sea Level Observing System (GLOSS) -järjestelmä, sekä meriliitimet rajavirtauksissa ja valtamerien lämpösisäلتötuotteet. Emily vastaa havainnointijärjestelmien budjettien hallinnasta ja strategisesta suunnittelusta. Hän koordinoi myös Adopt a Drifter -ohjelmaa, joka edistää kumppanuuksia koulujen kanssa Yhdysvalloissa ja ulkomailla, jotta ne voivat seurata ajelehtivia poijuja ja käyttää dataa reaaliajassa luokkahuoneissaan. Ennen NOAA:lle tuloaan Emily opetti useita vuosia yläkoululaisia. Tämä ohjelma auttaa häntä pysymään yhteydessä koulutusmaailmaan.



MARINE BOLLARD

Marine vastaa Euro-Argo European Research Infrastructure Consortium (ERIC) -järjestön tiedotustoiminnasta. ERIC on omistautunut kehittämään pitkäaikaista eurooppalaista panosta maailmanlaajuisen Argo valtamerien tarkkailujärjestelmään, jonka tavoitteena on tukea valtamerien ymmärryksen, ennustamisen ja roolin ilmastojärjestelmässä ymmärrystä sekä valtamerien terveyttä. Hänellä on kaksi maisterin tutkintoa, toinen hydrologisessa tekniikassa ja toinen tiedejournalismissa. Ennen Euro-Argoon tuloaan Marine vietti useita vuosia julkaisten tiedekirjoja ja artikkeleita opetustarkoituksiin ja yleisölle.

VIITTAUS : Greenan BJ, Wong AP, Morris T, Smith EA and Bollard M (2023) Keeping an Eye on Earth's Oceans With Argo Robots Front. Young Minds 11:943491. doi: 10.3389/frym.2023.943491

KÄÄNNÖS : Simo-Matti Siiriä and Laura Tuomi

TEKIJÄNOIKEUS © 2023 Greenan, Wong, Morris, Smith ja Bollard. Tämä on Open-Access artikkeli, joka on jaettu Creative Commons Attribution License (CC BY) -lisenssin ehtojen mukaisesti. Käyttö, jakelu tai jäljentäminen muissa yhteyksissä on sallittua, kunhan alkuperäinen kirjoittaja(t) ja tekijänoikeuden haltija(t) on mainittu ja alkuperäiseen julkaisuun tässä lehdessä on viitattu, hyväksyttyjen akateemisten käytäntöjen mukaisesti. Käyttö, jakelu tai jäljentäminen ei ole sallittua näiden ehtojen vastaisesti.