

דגים בים סוף מטיילים כל יום אל מעמקי האוקיינוס

Maria LI. Calleja^{1,2*}, Xosé Anxelu G. Morán¹

¹היחידה למדעים ולהנדסת ביולוגיה וסביבה, המרכז לחקר ים סוף, אוניברסיטת המלך עבדאללה למדעים ולטכנולוגיה, ת'ול, ערב הסעודית
²המחלקה לגיאוכימיה של אקלים, מכון מקס פלאנק לכימיה, מינץ, גרמניה

סוקרים צעירים

CHLOE

גיל: 15



HALA

גיל: 15



HUSSAM

גיל: 15



SABREEN

גיל: 10



XENIA

גיל: 15



אוקיינוסים בעולם חשובים במיוחד לחיים על כדור הארץ. בכל יום, הם מייצרים כמות גדולה של חמצן שנדרש לנשימה, ובאותו הזמן הם סופגים פחמן דו-חמצני שמיוצר על ידי בני אדם. אם לא היה לנו אוקיינוסים, הפחמן הדו-חמצני הזה היה מצטבר באטמוספירה הרבה יותר מהר ממה שהוא מצטבר כיום, מה שהיה מוביל להתחממות מהירה יותר של כדור הארץ. בפני השטח של האוקיינוס המוארים באור השמש, הפחמן הדו-חמצני נספג על ידי תאים חיים קטנים שנקראים פיטופלנקטון. חלק מהפיטופלנקטון נצרכים על ידי אורגניזמים גדולים יותר ומועברים לעומק האוקיינוס. במאמר הזה, חקרנו את ההשפעות של דגים קטנים ששוחים מהר, ניזונים בפני השטח במהלך הלילה ונשארים בעומק המים במהלך היום. בעשייתם זאת, הדגים האלה מזיזים פחמן מפני השטח, ומזיזים את החיידקים שחיים בעומק המים.

מדוע האוקיינוסים כל כך חשובים?

האוקיינוסים והימים בכדור הארץ שלנו מייצרים הרבה מהחמצן שאנו ואורגניזמים אחרים נושמים. זה אומר שכשאתם נושמים, אתם שואפים חמצן שמגיע בחלקו מהאוקיינוס, בין אם אתם חיים קרוב לים או במרכז היבשת! חמצן מגיע מהאוקיינוס מאחר שקרוב לפני השטח ישנם

פיטופלנקטון (Phytoplankton)

אורגניזמים פוטוסינתטיים שחיים בפני השטח המוארים של האוקיינוס. הם לוקחים פחמן דו-חמצני מהאטמוספירה ומייצרים חמצן וחומר אורגני.

פוטוסינתזה (Photosynthesis)

תהליך שבו צמחים ירוקים ופיטופלנקטון תופסים אור שמש והופכים אותו לאנרגיה. הוא צורך פחמן דו-חמצני ומייצר חמצן כתוצר לוואי.

מחזור הפחמן באוקיינוס (Ocean Carbon Cycle)

שילוב של תהליכים שמחליפים פחמן בין מאגרים שונים בתוך האוקיינוס, כמו גם עם האטמוספירה.

אורגני (Organic)

חלק מ- או תוצר של- אורגניזם או יצור חי.

חומר אורגני מומס (DOM - Dissolved Organic Matter)

חומר אורגני שמוצר באופן טרי על ידי פיטופלנקטון בפני השטח של האוקיינוס. חומר אורגני מומס משמש כמזון לחיידקים בפני השטח ובעומק האוקיינוס.

פרוקריוטים (Prokaryotes)

אורגניזמים חד-תאיים שאין להם גרעין. חיידקים הם פרוקריוטים.

מיליארדי אורגניזמים קטנים מאוד, שנקראים **פיטופלנקטון**, אשר מבצעים **פוטוסינתזה** באותו האופן שצמחים מבצעים על האדמה. תאי הפיטופלנקטון הגדולים ביותר הם באורך של כ-1 מילימטר. הם מגיעים בהרבה צורות שונות ויפות שאפשר לראות מתחת למיקרוסקופ. במהלך הפוטוסינתזה, פיטופלנקטון ימיים משחררים חמצן וסופגים פחמן דו-חמצני (CO_2), באמצעות האנרגיה מהשמש. זה קורה בחלק העליון של האוקיינוס היכן שישנו מספיק אור שמש, והתהליך הזה מסייע להפחית את כמות הפחמן הדו-חמצני באטמוספירה. ללא פיטופלנקטון ימיים, הפחמן הדו-חמצני שבני אדם מייצרים על ידי שריפת דלקי מאובנים ופעילויות תעשייתיות אחרות, היה מצטבר באטמוספירה אפילו מהר יותר, וההתחממות הגלובלית של כדור הארץ שלנו הייתה מואצת. אנו ברי מזל בכך ש-70% מפני השטח של כדור הארץ שלנו מכוסים באוקיינוסים, מאחר שהם מסייעים לנו למתן את שינויי האקלים.

סיפורו של מחזור הפחמן

מה קורה לפחמן דו-חמצני ברגע שהוא נספג על ידי אורגניזמים בפני השטח של האוקיינוס? לאן הוא הולך? התשובה היא די מורכבת: המולקולה הקטנה הזו מעורבת בהרבה תגובות ביולוגיות, כימיות ופיזיקליות, במה שמכונה **מחזור הפחמן באוקיינוס**. במאמר הזה, נתמקד בחלק של המחזור הזה שמחובר לבעלי החיים. במהלך פוטוסינתזה, הפיטופלנקטון הופך פחמן דו-חמצני למולקולות **אורגניות**. מולקולות אורגניות הן חומרים שנוצרים מאטומי פחמן שמחוברים יחד בטבעות או בשרשראות, ואלמנטים אחרים כמו מימן, חמצן וחנקן. לדוגמה, חומצות אמינו הן מולקולות אורגניות. במולקולות האלה נעשה שימוש או על ידי פיטופלנקטון במטרה לגדול, או שהן משוחררות בסופו של דבר לתוך מי הים כמוצרי פסולת. אורגניזמים ימיים גדולים יותר אוכלים פיטופלנקטון, וחיות גדולות יותר, בתורן, נאכלות על ידי חיות גדולות עוד יותר. באופן הזה, מולקולות אורגניות של פחמן שמויצרות על ידי פיטופלנקטון מספקות מזון ואנרגיה לכל האורגניזמים האחרים שמרכיבים רשתות מזון ימיות. תוצרי הפסולת של פיטופלנקטון, שנקראים **חומר אורגני מומס**, מורכבים ממולקולות שמהוות מזון לאורגניזמים זעירים שנקראים חיידקים וארכאונים, שגודלם קטן מ-1 מיקרומטר (רוחבה של שערה אנושית הוא כ-25 מיקרומטרים!). האורגניזמים הזעירים האלה חיים בכל העומקים של האוקיינוס – החל מפני השטח ועד לקרקעית. חיידקים הם האורגניזמים השכיחים ביותר על כדור הארץ, והם ממלאים תפקיד חשוב מאוד במחזור הפחמן באוקיינוסים [1].

חיידקים בעומק האוקיינוס

חיידקים וארכאונים הם **פרוקריוטים**, מה שאומר שהם אורגניזמים חד-תאיים שאין להם גרעין. מאחר שחיידקים שכיחים יותר באופן טבעי מארכאונים, אנו נשתמש במונח 'חיידקים' כדי להתייחס לכל הפרוקריוטים. אנו יודעים שחיידקים בפני השטח של האוקיינוס משגשגים על ידי צריכת חומר אורגני מומס חדש שנוצר על ידי פיטופלנקטון, אולם מה הם צורכים במעמקי האוקיינוס? הם צריכים להסתדר עם חומרי השאריות מפני השטח ששוקעים למעמקי המים. השאריות שמגיעות למעמקי האוקיינוס אינן טעימות כמו החומר הטרי מפני השטח. בשל כך, במשך זמן רב מדענים חשבו שחיידקים עמוקים היו הרבה פחות פעילים מחיידקי פני השטח. אולם כעת אנו יודעים שזה לא נכון! חיידקים עמוקים יכולים להיות פעילים ממש כמו חיידקי פני שטח [2], ומדענים עדיין חוקרים כיצד חיי חיידקים באוקיינוס החשוך פועלים. אנו עדיין

יודעים מעט מאוד על כך, מאחר שכפי שאתם יכולים לדמיין חקירת מים במעמקי הים אינה משימה קלה.

דגים ששוחים בין פני השטח לעומק האוקיינוס מסייעים להזין חיידקים עמוקים

טכנולוגיות מודרניות סיפקו מידע חדש שמאפשר לנו להבין טוב יותר את הקשר שבין פני השטח לבין השכבות העמוקות של האוקיינוס. מדענים בחנו במשך זמן רב את ההתנהגות של בתי ספר של דגים קטנים ששוחים כל יום למעלה ולמטה בין פני השטח לבין עומק האוקיינוס. אנו קוראים לתנועה הזו **הגירה יומית אנכית** (איור 2) [3]. הדגים המהגרים האלה מחברים בין פני השטח והמעמקים של האוקיינוס. חלק מהם שוחים לעומק של 1,000 מטרים! הם מניעים כמות גדולה של פחמן למעלה ולמטה בכל יום. כמו יצורים חיים אחרים, הגוף שלהם מורכב מפחמן! אנו יודעים שהדגים הקטנים האלה הם באורך של כמה סנטימטרים, והם אוהבים להישאר בפני השטח במהלך הלילה, שם הם אוכלים כמה שיותר פיטופלנקטון וטרף אחר שהם מצליחים להשיג. לאחר מכן, כשהשמש עומדת לזרוח, הם ממהרים למטה למעמקי האוקיינוס. הם מבליים את כל היום שם למטה, וכאשר השמש שוקעת הם ממהרים שוב למעלה אל פני השטח. איננו יודעים בדיוק מדוע הדגים האלה מבצעים הגירה יומית אנכית, אולם הם עשויים לעשות זאת כדי להימנע מלהיאכל על ידי דגים גדולים יותר. הם מבליים את היום בבטחה במעמקים, שם תמיד חשוך, ועולים למעלה אל פני השטח כדי לאכול במהלך הלילה, כאשר גם חשוך. על ידי כך שהם מבליים את מרבית זמנם בחושך, הם נמנעים ממצב שבו דגים גדולים שרוצים לאכול אותם יוכלו לראותם.

כיצד דגים וטמפרטורת המים משפיעים על פעילותם של חיידקים בעומק הים?

רצינו לדעת אם הגירת דגים עשויה להיות חשובה עבור חיידקים בעומק הים. האם ישנו קשר בין פחמן אורגני שחיידקים בעומק הים צורכים לבין פחמן אורגני שדגים מהגרים מספקים? כדי לענות על השאלה הזו, ערכנו ניסוי בים סוף, אחד מהימים הכיחמים בעולם.

ים סוף מעניין במיוחד עבורנו. אפשר לחשוב עליו כסביבה קיצונית בשל הטמפרטורות הגבוהות שלו, במיוחד בקיץ! טמפרטורות בעומק האוקיינוס באזורים אחרים בעולם נעות בדרך כלל בין 4 לבין 8 מעלות צלזיוס. זו הטמפרטורה שיש לנו במקררים שלנו... די קריר! אולם המים העמוקים בים סוף (מ-200 מטרים פנימה לכיוון קרקעית הים) הם בטמפרטורה של כמעט 22 מעלות צלזיוס. בטמפרטורה הזו, אנו יכולים ללכת בחוץ עם שרוולים קצרים! ככל שהטמפרטורה גבוהה יותר, כך החיידקים פעילים יותר. לכן, ים סוף, עם אוכלוסייה גדולה של דגים מהגרים, ומים עמוקים וחמים, היה מקום אידיאלי עבורנו לבחון את תגובתם של חיידקים עמוקים להגירת דגים.

ניסוי בים סוף

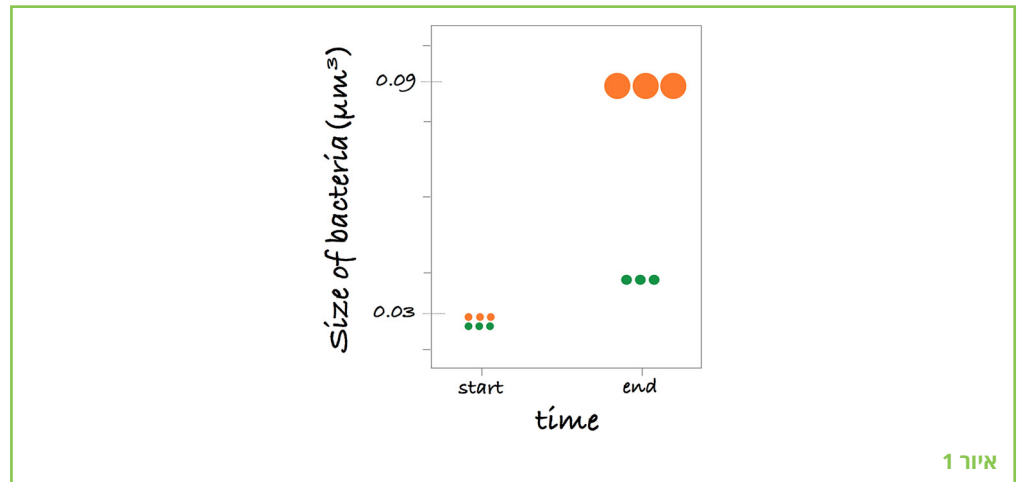
בניסוי שלנו, יצאנו באמצע היום ואספנו מים מהעומקים שאליהם דגים נסוגים במהלך היום (שאנו קוראים להם 'שכבת הדגים'). ידענו, ממכשיר דומה לרדאר שיכול לאתר נוכחות של דגים, ששכבת הדגים הייתה בעומק של בין 500 ל-600 מטרים. החלטנו לקחת מים מ-550 מטרים ולהשוות אותם עם מים מפני השטח מעומק של 5 מטרים. ראשית, סיננו מי ים דרך

הגירה יומית אנכית (Diel Vertical Migration)

תנועה יומית מסונכרנת של דגים ושל חיות שוחות אחרות בין פני השטח לבין השכבות העמוקות של האוקיינוס. הם מבליים את היום במעמקים ואת הלילה בפני השטח.

איור 1

גודלם של תאי חיידקים בתחילת הניסוי ובסופו, עם מים מפני השטח (בירוק) ומים משכבת הדגים (בכתום). חיידקים מפני השטח לא גדלו הרבה, אולם חיידקים משכבת הדגים העמוקה נעשו גדולים מאוד עד סוף הניסוי. זה אומר לנו שהמזון שהיה זמין עבור חיידקים בעומק המים היה מזין מאוד.



איור 1

ממברנות עם חורים קטנים כך שרק חיידקים וחומר אורגני מומס נכללו במים, ואז הבאנו את המים האלה למעבדה למחקרים נוספים. מיקמנו את דגימות המים באינקובטור בתנאים כמה שיותר קרובים לתנאים שבאתר, כך שלחיידקים היתה אותה כמות של שעות אור, שעות חושך, ואותה טמפרטורה שהיתה להם באוקיינוס. חיידקים גדלים מהר, ולכן ניטרנו את השינויים במספר החיידקים וגודלם במהלך 8 ימים, ולקחנו דגימות ימיות מבקבוקי הניסויים שלנו כדי למדוד כיצד החיידקים גדלו וכמהחומר אורגני מומס הם צרכו.

צפינו בכך שחיידקים משכבת הדגים גדלו מהר יותר מחיידקים מפני השטח. לא רק זה, אלא הם גם נעשו שמנים הרבה יותר (איור 1)! משמעות הדבר היא שחיידקים מצאו את החומר האורגני המומס שסופק על ידי דגים יותר מזין מאשר זה שסופק על ידי הפיטופלנקטון שבפני השטח. היינו מופתעים מאוד מהתוצאה הזו. אנו מאמינים שכאשר דגים נמצאים בשכבת הדגים במהלך היום, הם נחים ומעכלים את ארוחת הלילה שלהם. הם נרגעים במעמקי המים, עושים צרכים, וחלק מהצרכים האלה הוא חומר האורגני המומס שנעשה מזון טעים לחיידקים הרעבים בעומק האוקיינוס. באמצעות הניסוי הזה, הוכחנו שהגירה אנכית של דגים בין פני השטח לבין עומק המים אינה רק מניעה פחמן למעלה ולמטה, אלא היא גם מספקת מקור למזון טוב עבור חיידקי העומק!

מה למדנו

איור 2 מראה את מה שלמדנו, שמויצג על ידי הגירה יומית אנכית של **דג הפנס בעל לחיים רזות** בים סוף. בעוד שפיטופלנקטון יכול לשרוד רק בשכבות העליונות שאליהן האור מגיע, חיידקים יכולים לחיות בכל מקום באוקיינוס. חשבנו שחיידקים במים העמוקים לא היו פעילים מאוד, ושהם צרכו רק חומר אורגני מומס ושאריות שמגיעות למטה לאט מפני השטח של המים. אולם הניסוי שלנו מציע שהגירת דגים אל עומק המים במהלך היום יוצרת "נקודה חמה" של מזון עבור חיידקים בעומק. זה אף פעם לא נראה קודם לכן.

השאלה הבאה שעולה בראשנו היא האם זה קורה בכל האוקיינוסים האחרים, ואם כן, מה הן ההשלכות? הממ... איננו יודעים עדיין! בכל פעם שמדענים מגלים משהו, עלולות שאלות חדשות. יש הרבה מה ללמוד עדיין על האוקיינוסים ועל מחזור הפחמן!

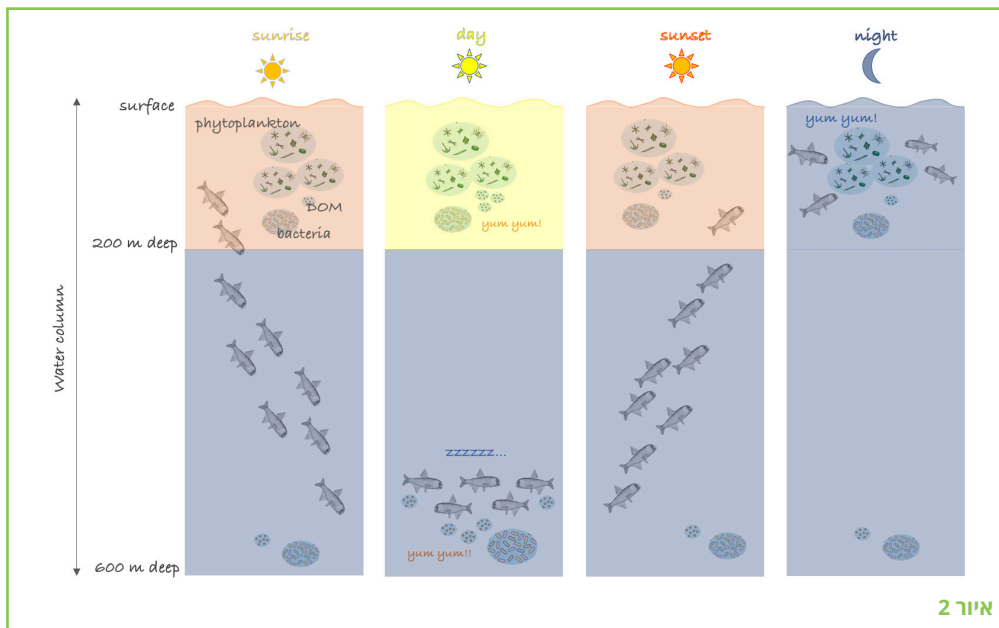
דג הפנס בעל לחיים רזות (Skinnycheek Lantern Fish)

דוגמה לדג שמהגר אנכית באוקיינוס. הוא נשאר עמוק במים במהלך היום ובפני השטח של המים במהלך הלילה. הוא נמצא בכל האוקיינוסים.

איור 2

הגירה יומית אנכית של דג פנס בעל לחיים רות

ביום סוף. בפאנל הראשון, בית ספר של דגים שוחה מפני השטח אל עומק המים בסביבות הזריחה, והם נסוגים לעומקים אפילו יותר עמוקים במהלך היום (פאנל שני). בשקיעה, הם שוחים חזרה אל פני השטח (פאנל שלישי), שם הם ניזונים מפיטופלנקטון במהלך הלילה (פאנל רביעי). פיטופלנקטון תמיד נשארים בפני השטח, בעוד שחיידקים חומר אורגני מומס נמצאים גם בפני השטח וגם בעומק המים. במהלך היום, חיידקי פני שטח צורכים חומר אורגני מומס שמוצר על ידי פיטופלנקטון, וחיידקים בעומק המים צורכים חומר אורגני מומס שמסופק על ידי הדגים. הייצוג של פיטופלנקטון, חיידקים וחומר אורגני מומס באיור הוא מודיפיקציה מ-Buchan et al. [4]. הייצוג של דג פנס בעל לחיים רות הוא איור מ-Barton Warren [5]. Evermann.



איור 2

תודות

אנו רוצים להודות לנורה גוטייז אביו (13), למריה דה לויץ סרה (15), וגם לסוקרים הצעירים ולמנטורית שלהם שקראו את טיוטת המאמר המקורית וסיפקו משוב מועיל מאוד במטרה לשפר את המאמר ולעשותו מובן לשכבת הגיל שלהם.

מאמר המקור

Calleja, M. L., Ansari, M. I., Røstad, A., Silva, L., Kaartvedt, S., Irigoien, X., et al. 2018. The mesopelagic scattering layer: a hotspot for heterotrophic prokaryotes in the Red Sea twilight zone. *Front. Mar. Sci.* 5:259. doi: 10.3389/fmars.2018.00259

מקורות

1. Azam, F., Smith, D. C., Steward, G. F., and Hagström, Å. 1994. Bacteria-organic matter coupling and its significance for oceanica carbon cycling. *Microb. Ecol.* 28:167–79. doi: 10.1007/BF00166806
2. Arístegui, J., Gasol, J. M., Duarte, C. M., and Herndl, G. J. 2009. Microbial oceanography of the dark ocean’s pelagic realm. *Limnol. Oceanogr.* 54:1501–29. doi: 10.4319/lo.2009.54.5.1501
3. Buchan, A., LeCleir, G. R., Gulvik, C. A., and González, J. M. 2014. Master recyclers: features and functions of bacteria associated with phytoplankton blooms. *Nat. Rev. Microbiol.* 12:686–98. doi: 10.1038/nrmicro3326
4. Brierley, A. S. 2014. Diel vertical migration. *Curr. Biol.* 24:R1074. doi: 10.1016/j.cub.2014.08.054

5. Jordan, D. S., and Evermann, B. W. 1902. *American Food and Game Fishes: A Popular Account of All the Species Found in America North of the Equator, With Keys for Ready Identification, Life Histories and Methods of Capture*. London: Hutchinson and Co.

פורסם אונליין: 20 באפריל 2022

נערך על ידי: Christian Robert Voolstra

מנחה מדעי: Susann Rossbach

ציטוט: Calleja ML and Morán XAG (2022) דגים בים סוף מטיילים כל יום אל מעמקי האוקיינוס. *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2020.00085-he

תורגם והותאם: Calleja ML and Morán XAG (2020) Red Sea Fishes That Travel Into the Deep Ocean Daily. *Front. Young Minds* 8:85. doi: 10.3389/frym.2020.00085

הצרת ניגוד אינטרסים: המחברים מצהירים כי המחקר נערך בהעדר כל קשר מסחרי או פיננסי שיכול להתפרש כניגוד אינטרסים פוטנציאלי.

COPYRIGHT © 2020 © Calleja and Morán 2022. זהו מאמר בגישה פתוחה שמופץ תחת תנאי רישיון Creative Commons Attribution License (CC BY). השימוש, ההפצה או ההעתקה מותרים לשימוש בפורומים אחרים ובלבד שיינתן קרדיט למחברים (המקוריים ולבעל זכויות היוצרים, ושהפרסום המקורי בעיתון זה מצוטט בהתאם למקובל באקדמיה. השימוש, ההפצה או ההעתקה אינם מותרים אם הם אינם עומדים בתנאים אלה.

סוקרים צעירים

CHLOE, גיל: 15

היי! קוראים לי Chloe, כיום אני בת 15. התחביבים שלי כוללים קריאה, שירה, כתיבה ומחקר. אני אוהבת לבלות שעות בקריאה ברשת או בספרים, כתלות במצב הרוח שלי, אני פשוט אוהבת לקרוא. כיום אני גרה עם שני חתולים פרסיים שאוהבים לשיר בלילה כמוני, ושניהם עצלנים כמוני. בעתיד, הייתי רוצה להיות וירולוגית או מדענית גנטית, ואם לא יצא לי להיות אף אחד מהם, פשוט אהיה סופרת...



HALA, גיל: 15

היי! קוראים לי Hala, אני בת 15 ואני מבלה את זמני החופשי בקריאה ובכתיבת סיפורים קצרים. יש לי עניין בהיסטוריה, בפוליטיקה, בכלכלה ובביולוגיה. אני מקווה לחקור עיתונאות בעתיד, כך שאוכל לכתוב מאמרים כמו אלה!



HUSSAM, גיל: 15

קוראים לי Hussam ואני בן 15. התחביבים שלי כוללים ציור, בדמינטון וצילום. המדע האהוב עליי הוא ביולוגיה, וכיום אני עובד בהפקה מוזיקלית כחלק מהפעילויות מחוץ לבית הספר שלי.



**SABREEN, גיל: 10**

בונז'ור (היי), קוראים לי Sabreen, אני בת 10 ויש לי תשוקות רבות כולל מדע ומתמטיקה. אני אוהבת מאוד לקרוא, ואחד הספרים האהובים עליי הוא הארי פוטר. אני נהנית גם לעשות ספורט (כדורשת, טניס, טניס שולחן, שחייה...) ולאפות.

**XENIA, גיל: 15**

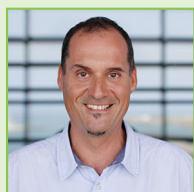
קוראים לי Xenia. אני אוהבת מדע ואני חושבת שזה מדהים להיות מסוגלים לקרוא מאמר מדעי ולהבין מה הוא אומר. בזמני הפנוי אני קוראת, מתעמלת ומצלמת.

הכותבים**MARIA LL. CALLEJA**

Maria היא חוקרת ימית שמתמקדת בהבנת מחזור הפחמן באוקיינוסים. העניין הרחב שלה הביא אותה לעבוד על מערכות שונות כמו מערכות טרופיות ומערכות בקטבים. המחקר של מריה מתמקד בתפקיד של אורגניזמים מיקרובים בשליטה על מחזור הפחמן באוקיינוס, וכיצד זה משנה את תרשיש ההתחממות. *maria.calleja@mpic.de

**XOSÉ ANXELU G. MORÁN**

Xelu הוא פרופסור לאוקיינוגרפיה ביולוגית ולאקולוגיה מיקרובית שמתמקד בפלנקטון קטנטן ובתפקידו במחזור הפחמן באוקיינוס. תחומי העניין שלו כוללים אינטראקציות פיטופלנקטון-חיידקים, שונות של פוטוסינתזה וייצור ראשוני ושינויים ארוכי טווח של אורגניזמים ביולוגים ימיים. הוא מנסה להבין את המבנה של רשתות מזון מיקרוביות ותפקודן, ואת תגובתן לשינוי הגלובלי.



מוזיאון המדע ע"ש בלומפילד ירושלים
متحف العلوم على اسم بلومفيلد القدس
Bloomfield Science Museum Jerusalem



הוצאת פרונטירז מדע לצעירים ישראל
Hebrew version provided by



THE SAGOL NETWORK