

כובשים את העולם: פלישתו של סרטן הנהרות האדום

Francisco Javier Oficialdegui*†

המחלקה לאקולוגיה של אדמות רטובות, התחנה הביולוגית דניאנה (EBD-CSIC), סביליה, ספרד

סוקרות צעירות

KATI

גיל: 15



SAMEEN

גיל: 14



טווח מקורי (Native Range)

אזור שבו מינים חיו
באופן היסטורי.

אחד האיזמים הגדולים ביותר על מגוון ביולוגי הוא פלישה של מינים לא מקומיים, שגם נקראים מינים חייזריים פולשים. קריטי שמדענים יקבעו את נתיבי ההכנסה העיקריים שדרכם מינים לא מקומיים נכנסים למערכת אקולוגית. אנו חקרנו את סרטן הנהרות האדום (*Procambarus clarkii*), סרטן שחי במים מתוקים, והסתכלנו על המאפיינים הגנטיים של 122 אוכלוסיות של סרטני נהרות (22 מקומיות ו-100 חיצוניות) כדי להבין את ההבדלים ביניהן, ולקבוע מהיכן הן הגיעו. התוצאות שלנו הראו שונות גנטית גדולה בין אוכלוסיות של סרטני נהרות, וגם שמין סרטן הנהרות הזה פלש לחלקים שונים של העולם דרך אירועי הכנסה ונתיבים רבים, כאשר בני אדם מילאו תפקיד בהכנסות האלה. לכן, חשוב מאוד לשלוט במקורות הפלישה המשוערים כדי למנוע הכנסות נוספות וגדילה מהירה של אוכלוסיות סרטני נהרות.

מהם מינים חייזריים פולשים ומדוע הם מהווים בעיה?

אנו חיים בעולם משתנה, שבו אנו יכולים לטייל למרחקים גדולים בקלות ובמהירות גדולות מאי פעם. בני אדם העבירו, בטעות או בכוונה, מינים רבים מחוץ לבתים הטבעיים שלהם, או לטווחים המקוריים, במשך מאות שנים. אולם תדירות האירועים האלה גדלה באופן דרסטי בעשורים האחרונים. מינים רבים משוחררים לסביבות חדשות שבהן הם יכולים לשרוד,

מינים חייזריים פולשים (Invasive Alien Species)

מינים שהוכנסו מחוץ לאזור המקורי שלהם, שמסוגלים לשרוד, לשגשג ולהתפשט, וחלקם מזיקים לאורגניזמים אחרים באזורים החדשים.

להתרבות בהצלחה ולהפוך לפולשים, מה שאומר שהם מתחילים להתחרות במינים מקומיים ולגבור עליהם [1]. **מינים חייזריים פולשים** יכולים לגרום לבעיות חמורות לסביבה, לכלכלה ולרווחה אנושית. לדוגמה, הצטברות של קונכיות צדפות הזברה (*Dreissena polymorpha*) בצינורות השקיה יכולה לחסום את הצינורות ולגרום לחקלאים לאבד כמויות גדולות של כסף. או, למשל, פעילות החפירה של דג שנקרא קרפיון מצוי (*Cyprinus carpio*) מגדילה את עכירות המים, מה שיכול להפחית את יכולתם של צמחים ימיים לבצע פוטוסינתזה על ידי הקטנת כמות האור שמגיע אליהם. בהינתן ההשלכות הרציניות שלהם, מינים חייזריים פולשים נחשבים לאחד האיומים הגדולים ביותר על מגוון ביולוגי, שירותי מערכות אקולוגית ורווחה אנושית.

מדענים כל הזמן שואלים שאלות על פלישות ביולוגיות. מדוע חלק מהמינים מצליחים בעוד שאחרים נכשלים? [2]. כיצד מינים חייזריים פולשים מוכנסים לסביבה חדשה? מדוע הם נעשים פולשים? היכן הם מפוזרים? [3]. חוקרים יודעים שתהליך פלישה כולל כמה שלבים. הצלחת הפלישה תלויה לעיתים קרובות בכמה פריטים שמשוחררים, ובאופן שבו הם מוכנסים. בדרך כלל, ישנו סיכוי גדול יותר להצליח לפלוש אם ישנם מאות פריטים שמוכנסים כמה פעמים לאתר מסוים, מאשר אם ישנו אירוע הכנסה בודד שמערב רק מעט פריטים [4]. לכן, הַבְנַת הסיבה לכך שהמינים האלה מוכנסים, מהיכן הם הגיעו, כיצד הם מתפשטים וכיצד תהליך הפלישה פועל, מהווים כולם גורמי מפתח לקביעת הדרך הטובה ביותר למנוע את ההתמקמות של מינים חייזריים פולשים ואת התפשטותם, ולהפחית את ההשפעות השליליות שלהם ברחבי העולם [3, 5].

סרטן הנהרות האדום הפולש (*PROCAMBARUS CLARKII*)

סרטן הנהרות האדום (*Procambarus clarkii*) הוא מין מקומי בדרום ארצות הברית וצפון-מזרח מקסיקו, אולם ניתן למצוא אותו בשטחי מים בכל היבשות פרט לאוסטרליה ולאנטארקטיקה [3]. סרטן המים המתוקים הזה מגיע בקלות לצפיפויות גבוהות, הופך למין פולש וגורם להשפעות אקולוגיות וכלכליות חמורות, כמו למשל טריפה של צמחים וחיות מקומיים; העברת מחלות למינים ימיים אחרים וגרימת נזק לסוללות ולתעלות בשדות אורז כתוצאה מפעילות החפירה שלו (איור 1). אולם כיצד סרטן הנהרות האדום הפך לפולש שכיח? ההכנסות של סרטני נהרות נבעו בעיקר כתוצאה מערכם הכלכלי כמאכל ים [3]. כן! אכילת סרטן נהרות שחי במים מתוקים היא שכיחה בהרבה מדינות (למשל, ישנם פסטיבלים של סרטני נהרות בארצות הברית ובשוודיה), ומייצרת תעשייה של עשרות מיליארדי דולרים בכל שנה ברחבי העולם. כתוצאה מחוסר מודעות להשפעות שלו, ומתוך תקווה להרוויח כסף, אנשים הכניסו בצורה מכוונת את המין הזה אל הרבה מקומות שונים בטבע ברחבי העולם.

מאחר שלסרטן הנהרות יש ערך כלכלי רב, הרבה הכנסות לאזורים חדשים תועדו בצורה טובה על ידי מדענים, אוהבי סרטני ים וחברות מסחריות [3]. לדוגמה, כאשר סרטני הנהרות הוכנסו לספרד, תועדו האדם שהביא אותם למדינה, התאריך והמיקום המדויקים של ההכנסה, ומספר סרטני הנהרות שהוכנסו. אולם אין זה שכיח שיש מידע מפורט כל כך, ולכן נדרשים כלים גנטיים כדי לגלות את היסטוריית הפלישה של מרבית המינים הפולשים. במקרה של סרטן הנהרות האדום, עשינו את שני הדברים: השתמשנו במידע היסטורי זמין ובכלים גנטיים כדי לאשר את נתיבי הפלישה של האורגניזם הזה.

איור 1

אוסף של סרטני נהרות אדומים שנתפסו בטבע (משמאל), וסרטן נהרות שיוצא מהבור שלו שנחפר בסוללה של שדה אורז (מימין).



איור 1

כיצד סרטן הנהרות האדום השתלט על העולם

ההכנסות הראשונות של סרטן הנהרות האדום למקומות חדשים התרחשו בשנות ה-1920: בשנת 1924 בקליפורניה, ובשנת 1927 באיי הוואי בארצות הברית, בשנת 1927 ביפן, ובשנת 1929 בסין. באמצע שנות ה-1960, קבוצה של סרטני נהרות נשלחה לאוגנדה ולקניה, וזמן קצת לאחר מכן למדינות אחרות באפריקה. בד בבד החיות האלה התפשטו במקסיקו והגיעו לקוסטה ריקה, פוארטו ריקו, ונצואלה והרפובליקה הדומיניקנית בשנות ה-1970, ולברזיל באמצע שנות ה-1980. סרטן הנהרות האדום הוכנס באופן חוקי לספרד בשנים 1973 ו-1974, תחילה מלואיזיאנה וככל הנראה מאוחר יותר מאפריקה ומדרום-מזרח אסיה. כיום, המין הזה נוכח לפחות ב-40 מדינות ברחבי העולם [3]. כפי שאתם יכולים לראות, סרטן הנהרות האדום טייל הרבה! על ידי שימוש במידע הזה ואיסוף סרטני נהרות ממקומות שונים ברחבי העולם, יכולנו לגלות את תהליך הפלישה שלהם, לתאר את השונות הגנטית שלהם ולהבין את דפוסי הפלישה הגלובלית שלהם.

איסוף סרטני נהרות מרחבי העולם

אספנו בסך הכול 1,062 סרטני נהרות אדומים מ-72 מיקומים בצפון אמריקה, מזרח אסיה ואירופה. במעבדה, בודדנו את סוג הדנ"א שמשמש באופן שכיח להשוואה בין אוכלוסיות של חיות, שנקרא **דנ"א מיטוכונדרי**, מחתיכות רקמת שריר קטנות מכל סרטן נהרות. קיבלנו גם 345 רצפים גנטיים מאוכלוסיות של סרטני נהרות בסין ובמקסיקו, שנקבעו על ידי חוקרים אחרים, והשווינו אותן עם הדגימות שלנו. כמו כל הדנ"א, דנ"א מיטוכונדרי מורכב מחוט של ארבע מולקולות, שנקראות **נוקלאוטידים**, שמאורגנות ברצף מסוים. רצפי דנ"א מועברים הלאה מההורים שלנו, ורצפי דנ"א מיטוכונדרי תמיד מגיעים מהאימהות שלנו. אנו בחרנו חלק קטן של רצפי דנ"א מיטוכונדרי שיכולנו להשוות בין מיקומי סרטני נהרות, כדי לראות את הדמיון הגנטי בין החיות האלה. רצפי הדנ"א המיטוכונדרי המסוים של כל פרט נקרא **האפלוטיפי** (haplotype) שלו. על סרטני נהרות עם אותו רצפי דנ"א מיטוכונדרי בדיוק אומרים שיש להם אותו האפלוטיפי, כלומר שהם יותר קרובים זה לזה. אם אורגניזם שונה אפילו בנוקלאוטיד אחד, אומרים שיש לו האפלוטיפי אחר. לכן, אם שתי אוכלוסיות של סרטני נהרות באזורים שונים בעולם (לדוגמה, אחת מסין והשנייה מארצות הברית), חולקות את אותו האפלוטיפי, ככל הנראה ישנו קשר בין שני המיקומים האלה, ואנו יכולים להשתמש בקשר הגנטי הזה, יחד

דנ"א מיטוכונדרי

(mtDNA - Mitochondrial DNA)

דנ"א שממוקם במיטוכונדריה, שהם איברונים תאיים בתוך הרבה סוגי תאים.

נוקלאוטיד

(Nucleotide)

מולקולה שמרכיבה יחידה אחת של דנ"א. ישנם ארבעה נוקלאוטידים שונים בדנ"א: אדנין (A), ציטוזין (C), גואנין (G) ותימין (T).

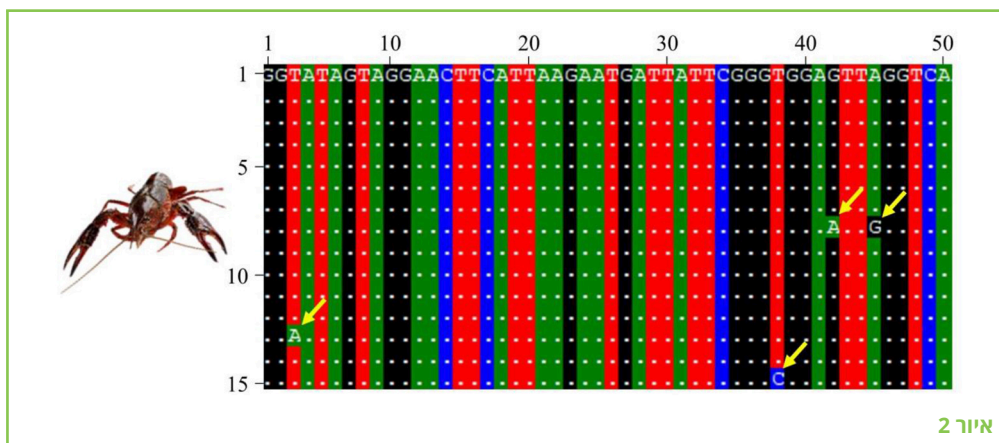
האפלוטיפי

(Haplotype)

רצף של נוקלאוטידים באזור מסוים של דנ"א מיטוכונדרי.

איור 2

רצפי האפלוטייפ של מספר סרטני נהרות אדומים. חתיכת רצף דנ"א מיטוכונדרי שבהרנו עבור השוואה מוצגת בחלק העליון של המטריצה. הקווים המקווקים שמתחת מייצגים רצפי סרטני נהרות מאותו המיקום בדנ"א. אותיות מוצגות במקום נקודות במקרים שבהם קיימים הבדלים ברצף הנוקלאוטידיים, מה שמייצג האפלוטייפיים שונים של סרטני נהרות. באיור הזה, צבעים שונים מייצגים את ארבעת הנוקלאוטידים של הדנ"א: גואנין (G, שחור); תימין (T, אדום); אדינין (A, ירוק) וציטוזין (C, כחול). חיצים צהובים מצביעים על כך שסרטני הנהרות שמוצגים בשורות שמספריהן 8, 13 ו-15 שייכים לשלושה האפלוטייפיים שונים מ-12 סרטני הים האחרים שנחקרו.



איור 2

עם מידע טכני יותר, כדי להבין מהיכן הגיעו סרטני הנהרות. באופן הזה, היינו מסוגלים לשחזר את נתיבי הפלישה של סרטני הנהרות האדום ברחבי העולם.

מצאנו דפוסי פלישה שונים

1,461 רצפי סרטני הנהרות שחקרנו כללו 65 האפלוטייפיים שונים, אשר נבדלו זה מזה בנוקלאוטיד אחד לפחות (איור 2). באופן כללי, במערכת האקולוגית שהיא טבעית לאורגניזם, אנו אמורים למצוא את כל ההאפלוטייפיים, אולם אוכלוסיות שהוכנסו לסביבות לא טבעיות בדרך כלל מראות מספר קטן יותר של האפלוטייפיים מאחר שבדרך כלל מוכנס מספר קטן של פריטים. אולם, שונות ההאפלוטייפ באוכלוסיית הפולשים יכולה להשתנות מכמה סיבות, וזה מה שמצאנו כשהסתכלנו על ההאפלוטייפיים של סרטני הנהרות האדום.

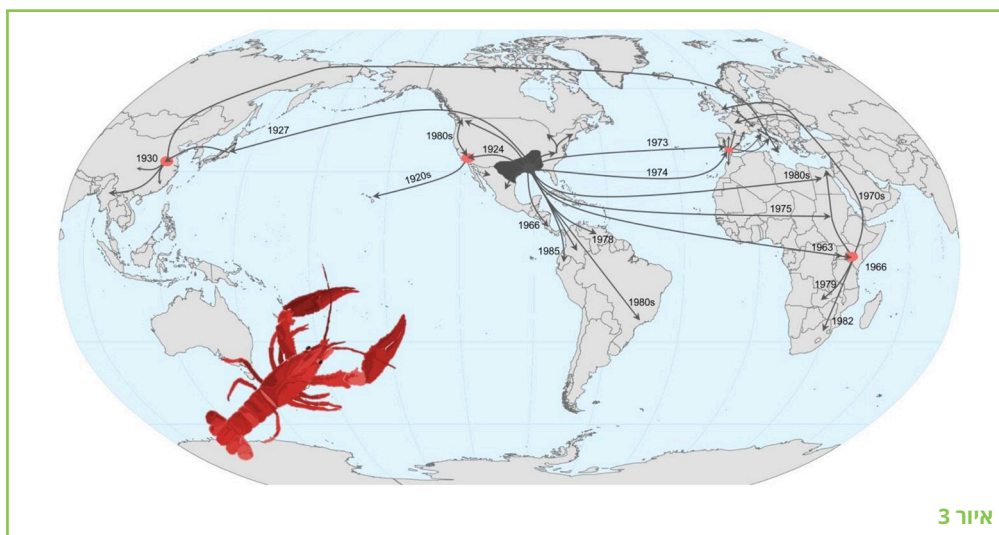
דבר אחד שלמדנו היה שלאוכלוסיות של סרטני נהרות פולשים ממערב ארצות הברית הייתה שונות האפלוטייפיים גדולה יותר, והן היו שונות מאוד מאוכלוסיות פולשות שנמצאו במזרח ארצות הברית. זה ככל הנראה בגלל שסרטני הים הוכנסו מספר פעמים למערב ארצות הברית, מאחר שהיו כמה חברות של אספקת סרטני נהרות בקליפורניה שמכרו סרטני נהרות חיים, שבסופו של דבר שוחררו אל הטבע. במזרח ארצות הברית, לעומת זאת, שלטה חברה אחת, חברת Carolina Biological Supply. ראינו גם שונות האפלוטייפ קטנה באוכלוסיות סרטני נהרות באסיה, מה שאישר את היסטוריית הפלישה למזרח אסיה. כלומר, לפי הספרות, 100 סרטני נהרות נישאו מניו-אורלינס ליפן בשנת 1927, ומתוכם רק 20 סרטני ים שרדו. באירופה, שונות ההאפלוטייפ הגדולה ביותר נמצאה בדרום ספרד, שם התרחשה ההכנסה הראשונה של סרטני נהרות, ושונות ההאפלוטייפ קטנה לכיוון צפון, כשגדלו אוכלוסיות חדשות ממספר פריטים שהוסעו מהאוכלוסייה המקורית הדרומית יותר. אולם מצאנו שונות גדולה באוכלוסיות אירופאיות אחרות, שהיא ככל הנראה תוצאה של הכנסות מרובות, כפי שהוסבר קודם לכן. נוסף על כך ראינו האפלוטייפ שונה בחלקים של צפון אירופה כמו למשל צרפת, בריטניה, בלגיה והולנד, שלא נמצאו בדרום ספרד שם התרחשה ההכנסה המקורית. זה מציע שייתכן שהתקיימו בצפון אירופה נתיבי הכנסה אחרים, שלא תועדו בכתב.

מערכת אקולוגית (Ecosystem)

חברה של אורגניזמים חיים שמתקשרים עם רכיבים לא חיים בסביבה שלהם כמערכת מורכבת.

איור 3

מפה של נתיבי הכנסה של סרטן הנהרות האדום, *Procambarus clarkii*. האזור האפור כהה מראה את טווח המחיה המקורי של סרטן הנהרות האדום. עיגולים אדומים מראים אזורים מחוץ לטווח המקורי שפלושו אליהם, וכתוצאה מכך נהפכו מקור לפלישות אחרות לאזורים נוספים, שגם נקראים מרכזי פלישה. הקווים/חיצים מראים את נתיבי ההיכרות שדווחו בספרות, כמו גם אלה שאושרו גנטית במחקר הזה (האיור נלקח מ- Oficialdegui et al. [6]).



מוסר השכל: פלישות של סרטני נהרות מורכבות יותר ממה שחשבנו

סרטן הנהרות האדום, ממש כמו הרבה מינים פולשים אחרים, הוכנס למיקומים חדשים על ידי בני אדם עבור מטרת שונות רבות. בעבודה שלנו, תיארנו את הפלישה המורכבת של סרטן הנהרות האדום בצפון כדור הארץ, והדגשנו את תפקיד המפתח של בני אדם בתנועה שלו ממקום אחד לאחר (איור 3). בעשורים האחרונים, סרטן הנהרות האדום הוכנס באופן שוטף למקומות רבים עוד יותר, מה שגרם להתפשטותו המהירה בכל רחבי הגלובוס. כתלות במספר אירועי ההכנסה ומספר הפריטים שהוכנסו, מצאנו אוכלוסיות פולשות עם שונות גנטית קטנה (מספר האפלוטיפים בלבד), או שונות גנטית גדולה (הרבה האפלוטיפים). בסך הכול, הממצאים האלה משמעותיים להבנת האופן שבו מינים פולשים מתפשטים. הידע הזה יכול לסייע לנו למצוא אסטרטגיות יעילות יותר למניעת ההתפשטות שלהם, ולמניעת ההשפעות השליליות שיכולות להתרחש כשהם משתלטים על מערכת אקולוגית.

תודות

אני אסיר תודה להערות ולהצעות שהתקבלו מת. ס. מישוט, ל. בויארו, מ. י. סאנצ'ז ומ. פראגוטי, ששיפרו את הטייטה הראשונה של כתב היד. אני מודה לשתיהן הסוקרות הצעירות עבור הערותיהן והצעותיהן, לשני המנטורים שלהן ולעורכים, פדרו מוראס וסוזן דבאד, עבור עצותיהם יקרות הערך לשיפור כתב היד הזה, והתאמתו לקהל הצעיר.

מאמר המקור

Oficialdegui, F. J., Clavero, M., Sánchez, M. I., Green, A. J., Boyero, L., Michot, T. C., et al. 2019. Unravelling the global invasion routes of a worldwide invader, the red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*). *Freshw. Biol.* 64:1382–400. doi: 10.1111/fwb.13312

מקורות

1. Blackburn, T. M., Pyšek, P., Bacher, S., Carlton, J. T., Duncan, R. P., Jarošík, V., et al. 2011. A proposed unified framework for biological invasions. *Trends Ecol. Evol.* 26:333–9. doi: 10.1016/j.tree.2011.03.023
2. Babič, I., Hudina, S., and Bielen, A. 2017. Invasion of the Chinese pond mussels—what makes these harmless-looking animals so dangerous? *Front. Young Mind* 5:56. doi: 10.3389/frym.2017.00056
3. Oficialdegui, F. J., Sánchez, M. I., and Clavero, M. 2020. One century away from home: how the red swamp crayfish took over the world. *Rev. Fish Biol. Fisher.* 30:121–35. doi: 10.1007/s11160-020-09594-z
4. Lockwood, J. L., Cassey, P., and Blackburn, T. 2005. The role of propagule pressure in explaining species invasions. *Trends Ecol. Evol.* 20:223–8. doi: 10.1016/j.tree.2005.02.004
5. Giovos, I., Katsanevakis, S., Coll, M., Piroddi, C., Steenbeek, J., Lasram, F., et al. 2019. Human activities help alien species to invade the Mediterranean Sea. *Front. Young Minds* 7:97. doi: 10.3389/frym.2019.00097
6. Oficialdegui, F. J., Clavero, M., Sánchez, M. I., Green, A. J., Boyero, L., Michot, T. C., et al. 2019. Unravelling the global invasion routes of a worldwide invader, the red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*). *Freshw. Biol.* 64:1382–400. doi: 10.1111/fwb.13312

פורסם אונליין: 07 במרץ 2022

נערך על ידי: Pedro Morais

מנחה מדעי: Usman Atique, Rebecca Brunner

ציטוט: Oficialdegui FJ (2022) כובשים את העולם: פלישתו של סרטן הנהרות האדום. *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2020.00026-he

תורגם והותאם: Oficialdegui FJ (2020) Conquering the World: The Invasion of the Red Swamp Crayfish. *Front. Young Minds* 8:26. doi: 10.3389/frym.2020.00026

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

COPYRIGHT © 2020 © Oficialdegui 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.

סוקרות צעירות

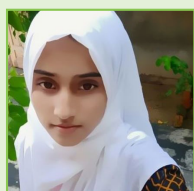
KATI, גיל: 15

אני תלמידת כיתה י, נהנית לקרוא ולנגן על כינור בס. אני אוהבת מדע ומתעניינת במיוחד בהתנהגות של חיות. אני מתרגשת להשתתף בסקירה של פרונטירה - מדע לצעירים מאחר שזה מאפשר לי ללמוד דברים חדשים מחוץ לבית הספר, כמו גם לחלוק תגליות חדשות עם חבריי לכיתה.



SAMEEN, גיל: 14

היי, אני Sameen ממאנדי בהאודין (M.B.Din). בית הספר שלי תחרותי מאוד במיוחד במקצועות מדעיים, אולם אני אוהבת ביולוגיה. אני אוהבת ללמוד על תהליכים טבעיים, במיוחד במינים ימיים. אני אוהבת לקרוא עיתון, ספרי היסטוריה וללמוד שפות חדשות. חוץ מזה, אני רוצה להשתתף במועדונים סביבתיים ובספורט. כשאגדל, אני רוצה לחקור מערכות אקולוגיות וביולוגיה.



הכותב

FRANCISCO JAVIER OFICIALDEGUI

קוראים לי Fran, ואני ביולוג שעובד על העולם המרתק של מינים פולשים. יש לי דוקטורט מהתחנה הביולוגית דוניאנה (EBD-CSIC) בסביליה, ספרד. המחקר שלי מתמקד באופן שבו ההתפלגות של מינים פולשים של מים מתוקים מתרחבת, וכיצד הם מצליחים להתמקם אחרי שהם נכנסו לסביבה החדשה. אני גם חוקר את ההשפעות שלהם ברגע שהם ממוקמים מחוץ לסביבה המקורית שלהם. בפרט, חקרתי את סרטן הנהרות האדום, פולש גלובלי שהוכנס למיקומים חדשים בעיקר על ידי בני אדם בשל ערכו המסחרי, מה שגרם לאחר מכן להשפעות הרות אסון על המערכות האקולוגיות שאליהן הוכנס. אני נהנה לבלות זמן בהסבר על הבעיה הנוכחית של פלישות ביולוגיות לאוכלוסייה הכללית, ואני חושב שזה תפקיד מפתח של מדענים.

officialdegui@ebd.csic.es*; [†]orcid.org/0000-0001-6223-736X



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



הוצאת פרונטירה מדע לצעירים ישראל
Hebrew version provided by



THE SAGOL NETWORK