



## האם מזוזאורוס היה חיה ימית? כיצד אנו יודעים אם חיה קדומה הייתה ימית או יבשתית?

Pablo Núñez Demarco<sup>1,2\*</sup>, Melitta Meneghel<sup>3</sup>, Michel Laurin<sup>4</sup>, Graciela Helena Piñeiro<sup>5\*</sup>

<sup>1</sup>הפקולטה למדעים, המכון למדעים גיאולוגיים, אוניברסיטת הרפובליקה, מונטווידאו, אורוגוואי  
<sup>2</sup>InGeBa, הפקולטה למדעים מדויקים ומדעי הטבע, אוניברסיטת בואנוס איירס, בואנוס איירס, ארגנטינה  
<sup>3</sup>המעבדה לשיטתיות והיסטוריה טבעית של חוליות, IECA, הפקולטה למדעים, אוניברסיטת הרפובליקה, מונטווידאו, אורוגוואי  
<sup>4</sup>CNRS/MNHN, אוניברסיטת סורבון, פריז, צרפת  
<sup>5</sup>החוג לפליאונטולוגיה (חקר מאובנים), הפקולטה למדעים, אוניברסיטת הרפובליקה, מונטווידאו, אורוגוואי

### סוקרת צעירה

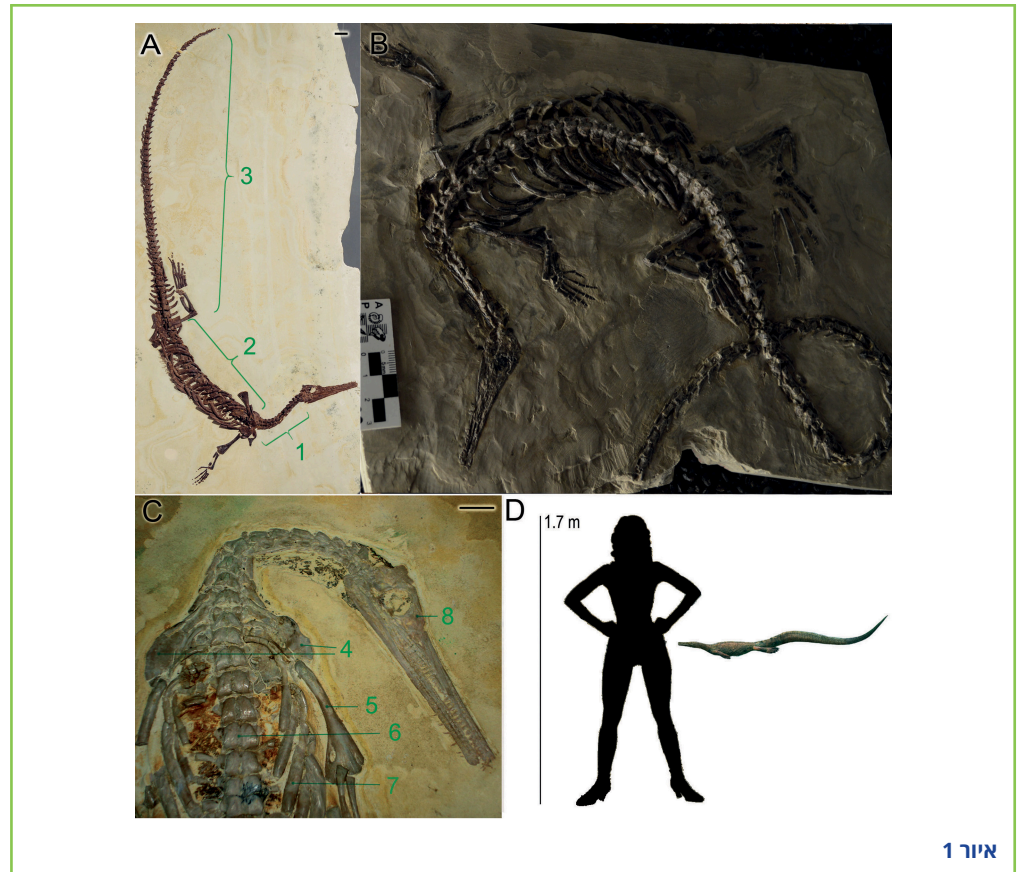
SHASHIPREE-  
THAM  
גיל: 12



מזוזאורוס הם זוחלים דמויי לטאה שחיו בתחילת תור הפרם (לפני 280-290 מיליוני שנים), או אפילו מוקדם יותר. מזוזאורוס ידועים מאלפי שלדים ששוחזרו באורוגוואי, בברזיל ובדרום אפריקה, כולל פריטים צעירים ובוגרים ואפילו עובר ונקבה מעוברת. במשך שנים מזוזאורוס נחשבו כחיות ימיות מאחר שיש להם כמה מאפיינים של זנים שהסתגלו לחיים ימיים כמו ידיים ורגליים בעלות קרומי שחייה ונוכחות של עצמות מעובות וקומפקטיות. אולם מזוזאורוס גם חולקים כמה מאפיינים עם זנים יבשתיים כמו למשל מבנה האגן, הגפיים והעקבים. כדי להבין אם מזוזאורוס הם ימיים או יבשתיים, חקרנו את עמודי השדרה של מזוזאורוס והשוונו אותם עם עמודי השדרה של חיות ימיות ויבשתיים אחרות. חקירת השונויות באורך החוליות יכולה לחשוף כיצד החיות זזו, ואם הן הסתגלו לסביבות יבשתיים או ימיות. באופן מפתיע, מצאנו שמזוזאורוס דומה יותר לחיות יבשתיים, מה שמשנה את תפיסתנו לגבי אורח החיים שלהם.

**איור 1**

(A-C) כמה שלדי מזוזאורוס עם סימונים של חלקים שונים:  
 1. האזור הצווארי, 2. האזור הנגיף, 3. אזור הזנב, 4. השכמה, 5. עצם ההומרוס (יד עליונה), 6. עמוד השדרה, 7. הצלעות, 8. הגולגולת.  
 (D) איור שמראה את גודלו הממוצע של מזוזאורוס ביחס לגודל אדם ממוצע.



איור 1

**מי היו המזוזאורוס?**

במהלך **תור הפרם** המוקדם (לפני 290-280 מיליוני שנים), חיים על היבשה כללו כמה חיות אמפיביות (דו-חיים) ודמויות לטאה שהיו האבות הקדמונים של כל הדינוזאורים, הזוחלים והיונקים. מזוזאורוס היה חיה דמוית לטאה שחיה בדרום אמריקה ובאפריקה במהלך תור הפרם. מזוזאורוס נחשב כאחד מקרובי המשפחה הימיים המוקדמים ביותר של זוחלים ויונקים [1]. המילה מזוזאורוס (mesosaurus) היא לטינית, כאשר "meso" משמעותו אמצעי. מדענים שתיארו את מאובני המזוזאורוס הראשונים האמינו שמזוזאורוס היו באמצע בין חיות אמפיביות לבין זוחלים, מאחר שהיו להם מאפיינים של שתי הקבוצות. למזוזאורוס היו כמה מאפיינים שהציעו שהם חיו אורח חיים ימי: זנב לטרלי דחוס; ידיים ורגליים בעלות קרומי שחייה ונחיריים שממוקמים קרוב לעיניים במיקום גבוה (מה שאפשר נשימה בלי להרים את הראש כולו מחוץ למים, כמו שתנינים נושמים). נוסף על כך כמו פרות ים ופלזיוזאוריה, למזוזאורוס היו עצמות דחוסות ועבות שייתכן שאפשרו להם לצלול לתוך המים ללא מאמץ (איור 1). בשל כל המאפיינים האלה, מזוזאורוס נחשבו כחיות ימיות לגמרי, ומדענים האמינו שהן יצאו מהמים לעיתים רחוקות בלבד, אם בכלל. אולם למזוזאורוס היו מאפיינים מסוימים שהיו דומים יותר לחיות יבשתיות, כמו למשל מבנה האגן והעקב [2]. כמו כן האמינו שהסביבה שבה מזוזאורוס חיו הייתה בעלת מים רדודים מאוד שהתייבשו והתכווצו, כמו מה שקורה היום בימת אראל (Aral Sea) או בימת אורמיה (Urmia Lake). לכן, כדי לומר בוודאות אם מזוזאורוס היו ימיים או יבשתיים, חקרו תבניות של עמודי שדרה וגפיים (ידיים ורגליים) של מזוזאורוס במטרה לראות מה אנו יכולים לקבוע לגבי אורח החיים שלהם, ולחקור עד כמה ימיים הם היו בדיוק.

**תור הפרם**

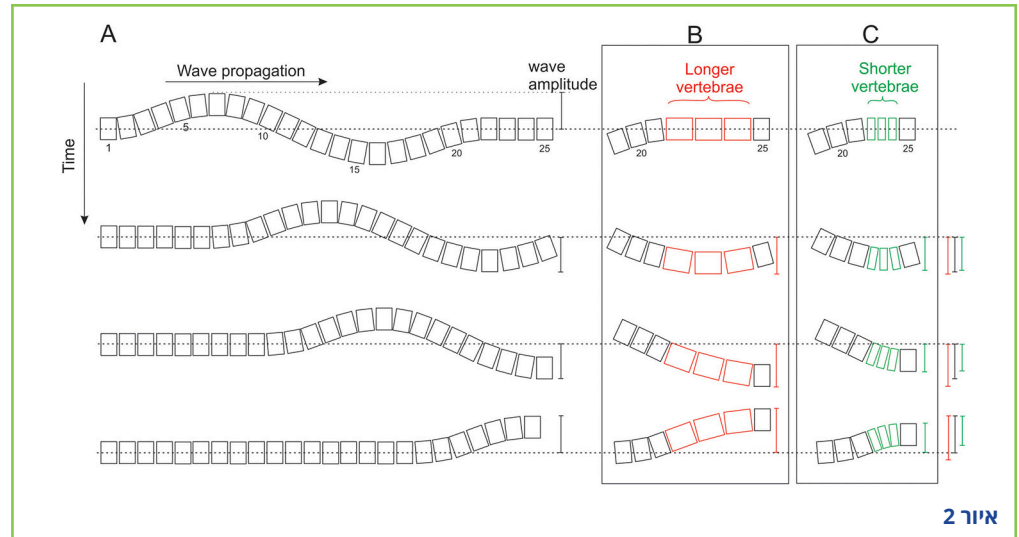
(Permian period)

התקופה הגיאולוגית האחרונה בעידן הפליאוזואיקון, שמתפרשת על השנים בין לפני 299 ל-251 מיליוני שנים מהיום.

## איור 2

(A) כיצד תנועה גלית מתקדמת לאורך עמוד השדרה כשכל החוליות באותו הגודל. החוליות ממוספרות מ-1 עד 25, כאשר 1 היא החוליה הצווארית הראשונה. אתם יכולים לראות שהגל שומר על גודלו וצורתו לאורך עמוד השדרה. (B) המשרעת (גובה) של התנועה הגלית גדלה כאשר שלוש חוליות ארוכות יותר מהשאר. (C) משרעת התנועה הגלית קטנה כאשר שלוש חוליות קצרות יותר מהשאר, והחלקים נעשים קשיחים יותר. שימו לב לכך שהזווית בין החוליות היא אותו הדבר, ההבדל היחיד הוא אורך החלק. מקור:

<https://doi.org/10.3389/fevo.2018.00109>



איור 2

## חיות ימיות רבות משתמשות בתנועות גליות כדי לשחות

מרבית החיות הימיות והימיות חלקיות (semi-aquatic); לצורך נוחות במאמר זה, נעברת את המינוח ונרשום מעתה "סמי-אקוויטיות", אף על פי שזה אינו ביטוי שגור) שוחות באמצעות הזזת הגוף או הזנב שלהן מצד לצד, או מלמעלה למטה. התנועה דמויית הגל הזו נקראת **תנועה גלית**, והיא נמצאת בשימוש אצל זוחלים, לוויתנים ודגים. ישנם כמה יוצאי דופן: צבים ופינגווינים הם חיות ימיות ששוחות באמצעות הזזה חוזרת ונשנית של הסנפירים שלהם (התנועה הזאת נקראת תנועה אוסצילטורית או flapping). חיות כמו אריות ים, סוסי ים ופליזוזאוריה שוחות באמצעות שילוב תנועות של הסנפירים, הזנבות והגוף שלהם, מה שיוצר תנועה גלית ו**תנודתית**. חיות שמבצעות תנועה גלית לא רק מזיזות את הזנבות שלהן מצד לצד או מלמעלה למטה. שחיה בתנועה גלית מערבת תנועה של כל הגוף מאחר שהתנועה דמויית הגל עוברת דרך מרבית עמוד השדרה כדי להגיע לזנב (איור 2). לחיות ששוחות בתנועה גלית יש כמה מאפיינים בעמוד השדרה שלהן שמאפשרים להן לבצע את התנועה הגלית בגודל הנכון. לדוגמה, אזורים מסוימים בעמוד השדרה יכולים להיות מחוזקים, מוקשים, מוארכים או מקוצרים, כתלות במין החיה.

אם כל החוליות זהות באורך, התנועה הגלית תעבור דרך כל השלד באופן דומה, ממרכז הגוף לקצה הזנב, בלי להשתנות (איור 2A). בניגוד לכך, ההבדלים באורכי החוליות יכולים ליצור שינויים בתנועות הגליות בזמן שהן זזות לאורך עמוד השדרה. כאשר תנועות גליות עוברות דרך הגוף, כל חוליה מעבירה את התנועה לחוליה הבאה. אם חוליה אחת ארוכה יותר מזו שלפניה, גודלן של התנועות הגליות (האורכיות) עולה באותו האזור (איור 2B). באופן דומה, אם אחת החוליות קצרה יותר מזו שלפניה, נגרמת הפחתה בגודל התנועה הגלית (איור 2C). לאורך דורות רבים חיות מסתגלות באמצעות קיצור החוליות שלהן באזורים שבהם נדרשות יותר קשיחות ויציבות, או מארכות אותן היכן שנדרשות יותר גמישות ותנועתיות.

צפוי כי חוליות של חיות ימיות וסמי-אקוויטיות יהיו ארוכות יותר באזורים מסוימים בזנבות שלהן. באזורים אחרים החוליות צריכות להיות בעלות אורך קבוע מאחר שהאזורים האלה בעמוד השדרה מאפשרים לחיות להפיק ולשמור על תנועות גליות רחבות כדי לדחוף את עצמן קדימה.

### תנועה גלית (Undulation)

תנועה דמויית גל.

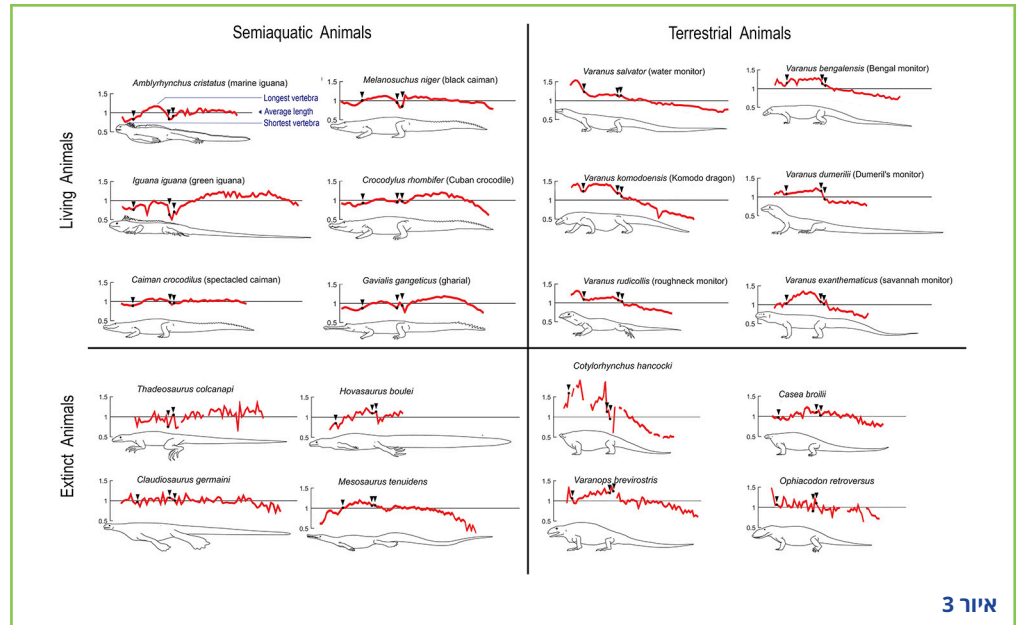
### תנודה (Oscillation)

תנועה שחוזרת על עצמה. כשמדברים על צורת של שחיה, זו בדרך כלל תנודה שמתייחסת לנפנוף רגליים במים.

### איור 3

פרופילים של אורכי חוליות עבור מינים שונים של חיות יבשתיות וסמי-אקוויטיות שנכחדו, וחיות נוספות שקשורות למזוזאורוס. הנתונים נוצרו באמצעות שיטות סטטיסטיות, לכן ציר y מציג את השונות באורך ביחס לממוצע של אורך החוליות. לדוגמה, ערך של 1.5 משמעותו שהחולייה ארוכה פי 1.5 מהממוצע. חיצים שחורים מסמנים את האזורים שבהם הצוואר נגמר והחזה מתחיל, והיכן שהגו נגמר והזנב מתחיל. מנתונים אלה ניתן לראות שאורך החוליות קטן באופן רציף בזנבות של חיות יבשתיות, אולם הוא גדל או שומר על אורכי זנבות של חיות סמי-אקוויטיות.

מקור: <https://doi.org/10.3389/fevo.2018.00109>



איור 3

חיות יבשתיות גם מניעות בתנועה גלית את חוליות השדרה שלהן בזמן שהן הולכות. אולם, חיות יבשתיות צריכות יותר תנועתיות באזורי הגו שלהן, ולכן החוליות באזור הגו הן הגדולות ביותר, ולא חוליות הזנב כמו אצל חיות ימיות.

### מחקר של שלדים: האם מזוזאורוס היו למעשה חיות ימיות?

בחנו 40 שלדי מזוזאורוס ממוזיאונים באורוגוואי, ברזיל, צרפת, גרמניה, פולין, שווייץ וארצות הברית. חלק מהמאובנים נשמרו כעצמות מאובנות; אחרים נשמרו כתבניות או יציקות באבן. מדדנו את אורכה של כל חוליה באמצעות תמונות ברזולוציה גבוהה (כמו באיור 1), וציינו את הנתונים כדי לראות כמה האורך משתנה לאורך הגוף. נתונים ממצרים אחרים **סמי-אקוויטיים (semiaquatic)** ומחיות יבשתיות שנכחדו גם נכללו בסיפור שלנו. מדדנו את החוליות של מינים קשורים אחרים שנכחדו, ואספנו את הנתונים מחיות אחרות שתוארו קודם בספרות. לאחר מכן השווינו את הנתונים של מזוזאורוס עם נתונים מחיות יבשתיות סמי-אקוויטיות אחרות. חלק מהמינים שעדיין קיימים נחקרו גם הם כמו תנינים ואיגואנות, מאחר שהחיות האלה חיות חיים סמי-אקוויטיים בדומה למזוזאורוס. המינים שנכחדו נבחרו מאחר שהם היו דומים בגיל הגיאולוגי (מעידן הקרבן או מתור הפרם).

מאחר שחיות בוגרות גדולות יותר מחיות צעירות מאותו המין, השוואת הנתונים שלהן יכולה להיות מבלבלת. כדי לפתור את הבעיה הזו השתמשנו בסוג מתמטיקה שנקרא סטטיסטיקה במטרה לגרום לנתונים מפרטים בגדלים שונים להיות אחידים יותר.

כאשר המידע היה זמין, השווינו גם את הגדלים היחסיים של עצמות הגפיים האחרות, שהן שונות אצל חיות יבשתיות וימיות (ראו Núñez Demarco ואחרים [3]).

### סמי-אקוויטיים (Semiaquatic)

חיות ימיות באופן חלקי שחיות או גדלות חלק מהזמן ביבשה וחלק מהזמן במים, או מבלות כמות זמן נכבדת במים. בדרך כלל חיות כאלה חיות קרוב לגופי מים כמו נהרות, אגמים או ימים.

#### איור 4

שחזור של מזוזאורוס והסביבה הקשה שלהם לפני 280 מיליוני שנים, שמראה הרי געש שמחוקמים בקרבה אחד לשני ומפזרים אפר מעל לאגם המים המלוחים שבו הם חיו. אתם יכולים לראות את המזון המשוער של המזוזאורוס, סרטני *pygocephalomorph*, *crustaceans*, מצד ימין למטה. שימו לב שבעקבות התוצאות שהתקבלו במחקר הזה, מיני מזוזאורוס מוצעים כשוחים באגם וגם כהולכים על האדמה. קרדיט: Roman Yevseyev, Pablo Núñez Demarco, Graciela Piñeiro-I



איור 4

### אולי מזוזאורוס היו רק סמי-אקוויטיים!

ראינו שתי תבניות של גדלי חוליות; אחת של חיות יבשתיות והשנייה של חיות סמי-אקוויטיות (ראו איור 3).

A. בחיות יבשתיות, החוליות ה**צוואריות** ארוכות יותר מהחוליות ה**זנביות**, ובמקרים מסוימים יכולות אפילו להיות ארוכות יותר מהחוליות ה**גביות** (דוֹרְסָלִיּוֹת). החוליות הגביות ארוכות יותר מהמוצע, והאזור הגבי של עמוד השדרה מציג שיא באורך החוליות או שיש לו אזור מרכזי שבו אורך החוליות כמעט קבוע. במינים מסוימים החוליות הגביות הן הארוכות ביותר. חוליות זנביות קטנות באורכן כמעט באופן רציף לאורך קצה הזנב.  
B. בחיות סמי-אקוויטיות, חוליות צוואריות אינן הארוכות ביותר; הן קצרות יותר או זהות באורכן לחוליות זנביות. לחוליות הגביות יש תבנית דומה לזו של חיות יבשתיות, אולם החוליות הגביות לעיתים קצרות יותר מהמוצע. חוליות זנביות הן לעיתים הארוכות ביותר, ושלא כמו אצל חיות יבשתיות גודלן של החוליות הזנביות גדל או נשאר זהה לאורך כמעט מחצית מהזנב.

באופן מסקרן, למזוזאורוס יש תבנית ביניים. החוליות הצוואריות שלו קצרות כמו של חיות סמי-אקוויטיות, מלבד ארבע או חמש חוליות במרכז הצוואר שאפשר לראות אצל חלק מהפריטים. אולם החוליות הזנביות של מזוזאורוס הן בעלות תבנית שהיא בין התבנית של חיות יבשתיות לבין התבנית של חיות סמי-אקוויטיות. התוצאה הזו מפתיעה מאחר שבמשך שנים רבות האמינו שהמזוזאורוס היו ימיים, אולם התבניות שלהם דומות לאלה של חיות יבשתיות מה שמציע אורח חיים סמי-אקוויטי, כלומר חיים שהם חלקית על היבשה וחלקית במים (איור 4).

#### צווארי

#### (Cervical)

מתייחס לצוואר בגוף החיה.

#### זנבי

#### (Caudal)

מתייחס לזנב או לאזור שלו, החלק האחורי בגוף החיה.

#### גבי

#### (Dorsal)

שקשור לגב בגוף החיה.

## מדוע זה חשוב?

חלק מהמחקרים הקודמים הציעו שמזוזאורוס הטילו ביצים ביבשה [4]. לכן, הם יכלו להיות החיות הידועות הראשונות שהטילו ביצים ביבשה. אולם התיאוריה הזו לא מקובלת באופן אוניברסלי מאחר שנחשב כי המזוזאורוס כמעט אף פעם לא יצאו מהמים אל החוף. אף על פי כן, המחקר שלנו הראה שמזוזאורוס יכלו לזוז על היבשה, ממש כמו שתנינים עושים! הראייה הזו תסייע לנו להבין הרבה יותר את האבולוציה של מזוזאורוס ואת הגורמים האפשריים של הכחדותם, ועשויה גם להוביל אותנו לבדוק את הרעיונות שיש לנו על מינים קדומים אחרים שכיום אנו מאמינים שהם מותאמים מרחבית לסביבת מחייה מסוימת.

## מאמר המקור

Núñez Demarco, P., Meneghel, M., Laurin, M., and Piñeiro, G. 2018. Was *Mesosaurus* a fully aquatic reptile? *Front. Earth Sci.* 6:109. doi: 10.3389/fevo.2018.00109

## מקורות

1. Laurin, M., and Piñeiro, G. 2017. A reassessment of the taxonomic position of mesosaurs, and a surprising phylogeny of early amniotes. *Front. Earth Sci.* 5:88. doi: 10.3389/feart.2017.00088
2. Romer, A. S. 1956. *The Osteology of the Reptiles*. Chicago, IL: University of Chicago Press. p. 772.
3. Núñez Demarco, P., Meneghel, M., Laurin, M., and Piñeiro, G. 2018. Was *Mesosaurus* a fully aquatic reptile? *Front. Earth Sci.* 6:109. doi: 10.3389/fevo.2018.00109
4. Piñeiro, G., Ferigolo, J., Meneghel, M., and Laurin, M. 2012. The oldest known amniotic embryos suggest viviparity in mesosaurs. *Hist. Biol.* 24:620–30. doi: 10.1080/08912963.2012.662230

פורסם אונליין: 28 בינואר 2021

נערך על ידי: Robert T. Knight, University of California, Berkeley, United States

**ציטוט:** Núñez Demarco P, Meneghel M, Laurin M and Piñeiro GH (2021) האם מזוזאורוס היה חיה ימית? כיצד אנו יודעים אם חיה קדומה הייתה ימית או יבשתית? *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2019.00039-he

### תורגם והותאם:

Núñez Demarco P, Meneghel M, Laurin M and Piñeiro GH (2019) Was *Mesosaurus* an Aquatic Animal? How Do We Know if an Ancient Species Was Aquatic or Terrestrial? *Front. Young Minds* 7:39. doi: 10.3389/frym.2019.00039

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

זהו © 2019 © COPYRIGHT Núñez Demarco, Meneghel, Laurin and Piñeiro 2020. 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 למחבר(ים) המקוריים ולבעל זכויות היוצרים, ושהפרסום המקורי בעיתון זה מצוטט בהתאם למקובל באקדמיה. השימוש, ההפצה או ההעתקה אינם מותרים אם הם אינם עומדים בתנאים אלה.

## סוקרת צעירה

### SHASHIPREETHAM, גיל: 12

היא, קוראים לי שששי, אני בן 12 ואני הולך לבית ספר Penglais. אני נהנה לשחק כדורגל וכדורסל. הנושאים האהובים עליי הם מתמטיקה ומחשבים. כיום אני לומד בכיתה ז'. אני מחזיק שיא גינס 4 פעמים במשחק שנקרא Rocket League ושמי מופיע במהדורת ספר השיאים של גינס לשנת 2018.

## הכותבים

### PABLO NÚÑEZ DEMARCO

אני גיאולוג. אני עובד כפרופסור באוניברסיטת הרפובליקה (אורוגוואי) ועושה את הדוקטורט שלי בגיאופיזיקה בארגנטינה, שם אני מנתח את השדה המגנטי של כדור הארץ כדי לסקור את מבנה קליפת כדור הארץ. עבודתי מחברת בין תחומים כמו אסטרונומיה, פיזיקה, גיאולוגיה, מתמטיקה ופליאונטולוגיה. מחוץ ללימודים שלי אני גיק, חנון וגיימר. \*pnunez@fcien.edu.uy

### MELITTA MENEGHEL

אני ביולוגית, פרופסורית ומנהלת הזואולוגיה של בעלי חוליות באוניברסיטת הרפובליקה באורוגוואי, שם אני מלמדת קורסים מתקדמים בזואולוגיה של בעלי חוליות ובאבולוציה ואנטומיה תפקודית של בעלי חוליות. תחום העניין הראשוני שלי הוא חקירת הביולוגיה של זוחלים, במיוחד את ההתנהגות והאנטומיה של נחשים רעילים. מעורבותי עם מזוזאורוס התחילה לפני כמה שנים, בניסיון לפרש את האנטומיה שלהם ואת צורת החיים האפשריות שלהם באמצעות הידע שלי על זוחלים חיים כנקודת התייחסות. בזמני הפנוי אני אוהבת לעסוק במלאכת יד.

### MICHEL LAURIN

אני פליאונטולוג וביולוג של האבולוציה שמתעניין באבולוציה של בעלי חוליות עם גפיים. לפעמים אני מפתח שיטות חדשות (בדרך כלל באמצעות שיתופי פעולה) ותחומי העניין העיקריים שלי כוללים חקירת אופני החיים של חיות שנכחדו, תארוך של עץ החיים והאופן שבו התפתחות של חיות משתנה עם הזמן. המומחיות הגרעינית שלי מתמקדת בבעלי חוליות מתקופת Permo-Carboniferous ומיקרו-אנטומיה של עצמות. אני מדען חוקר בכיר שעובד עבור CNRS בפריז, צרפת, וכיום אני אחד משני העורכים העיקריים של Comptes Rendus Palevol.

### GRACIELA HELENA PIÑEIRO

אני פליאונטולוגית וביולוגית של האבולוציה שמתעניינת בעיקר במאובנים מעידן הפליאוזואיקון המאוחר באורוגוואי. תשוקתי ואהבתי למזוזאורוס התחילה לפני זמן רב, כשמצאתי את הדגימה הראשונה של הזוחלים הקדמונים האלה. כיום אני יודעים יותר על הביולוגיה שלהם, כולל על הטרף המועדף עליהם, אסטרטגיות הרבייה הראשיות שלהם ואורח החיים שלהם. הייתי רוצה לבלות זמן רב יותר בעבודה עם מזוזאורוס, אולם אני פרופסורית באוניברסיטת הרפובליקה (אורוגוואי), שם אני מלמדת על המקורות ועל היסטוריית האבולוציה



של כל קבוצות בעלי החוליות, מדגים ועד יונקים. בזמני הפנוי אני אוהבת לבשל ולחוות רגעים טובים עם המשפחה שלי. \*fossil@fcien.edu.uy

Hebrew version  
provided by

מזיאון המדע ע"ש בלומפילד ירושלים (ער.)  
متحف العلوم على اسم بلومفيلد القدس  
Bloomfield Science Museum Jerusalem

